

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Návrh experimentálního pracoviště pro zkoušení elektronické regulace DFE1

Proposal of Experiment Workplace for the
Testing of Electronic Control DFE1

Student:	Bc. Lukáš Fuksa
Osobní číslo	FUK0040
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Erik Stonawski, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Fuksa**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika
Téma: **Návrh experimentálního pracoviště pro zkoušení elektronické regulace DFE1**
Proposal of Experimental Workplace for the Testing of Electronic Control DFE1
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši na téma elektronické regulace hydrogenerátorů A10VSO, A4VSO.
2. Proveďte návrh technického řešení pohonné jednotky pro zkoušení elektronické regulace DFE1.
3. Navrhněte hydraulický obvod, vypracujte hydraulické schéma a proveďte potřebné výpočty.
4. Specifikujte komponenty pro elektronické ovládání a vizualizaci žádaných hodnot.
5. Zpracujte návod na kalibraci hydrogenerátoru A4VSO-DFE1.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. WILL, D.; GEBHARDT, N. *Hydraulik – Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Springer Buch Verlag, 2011. 505 s. ISBN 987-3-642-17242-7.
2. KOPÁČEK, J.; PAVLOK, B. *Tekutinové mechanismy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 151 s. ISBN 80-248-0856-0.
3. ISERMANN, R. *Mechatronische Systeme – Grundlagen*. Springer Buch Verlag, 2008. 623 s. ISBN 987-3-540-32336-5.
4. NOSKIEVIČ, J. *Dynamika tekutinových mechanismů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995. 166 s., 1. vydání. ISBN 80-7078-297-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Erik Stonawski, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. Května 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fuxsa', written over a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující firma:

Bosch Rexroth, spol. s r.o.

Těžební 1238/2

62700 Brno

CZECH REPUBLIC

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Ing. Erik Stonawski, Ph.D.

V Ostravě dne 13. 5. 2020



.....
Podpis oprávněné osoby

(případně razítko)

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis autora práce

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

FUKSA, L. *Návrh experimentálního pracoviště pro zkoušení elektronické regulace čerpadel DFE1*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2020, 60 s. Vedoucí práce: Stonawski, E.

Diplomová práce se zabývá problematikou elektronické regulace hydrogenerátorů, návrhem a realizací zařízení pro zkoušení elektronické regulace DFE1. Toto zařízení bude sloužit pro nastavení, kalibraci a optimalizaci parametrů na zesilovacích kartách a v neposlední řadě k didaktickým účelům ve školicím středisku společnosti Bosch Rexroth, s.r.o. Úvod zahrnuje rešerši o axiálních pístových hydrogenerátorech typu A4VSO a A10VSO a jejich regulaci. Na základě výpočtů je navržen hydraulický obvod a specifikace jeho komponentů. Následující část je věnována návodu na kalibraci hydrogenerátoru A4VSODFE1. Po sestavení hydraulického obvodu bylo provedeno ověření funkčnosti.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

FUKSA, L. *Proposal of Experiment Workplace for the Testing of Electronic Control DFE1*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulics Equipment, 2020, 60 p. Thesis head: Stonawski, E.

This master thesis deals with the issue of electronic control pumps, design and realization of equipment for testing electronic control DFE1. This device will be used to set, calibrate and optimize parameters on amplifier cards and in the unclear series for didactic purposes in the training center of Bosch Rexroth, s.r.o. In the first part is described for axial piston hydrogenerators type A4VSO and A10VSO and their regulation. According on the calculations, the hydraulic circuit and the specifications of its components are designed. The following section is devoted to the instructions for calibration of the A4VSODFE1 hydrogenerator. After assembling the hydraulic circuit, the functionality was verified.

OBSAH

1.	Seznam použitých značek	10
2.	ÚVOD.....	11
3.	rotační Pístové hydrogenerátory	12
3.1.	Regulační hydrogenerátor A4VSO.....	13
3.1.1.	Elektrohydraulický regulační systém DFE1 pro hydrogenerátor A4VSO:	15
3.2.	Regulační hydrogenerátor A10VSO.....	16
3.2.1.	Regulace hydrogenerátoru A10VSO.....	18
4.	Regulace Hydrogenerátoru	21
5.	Elektrohydraulický regulační řídicí systém DFE1.....	22
6.	Externí řídicí elektronika pro regulaci DFE1 – Analogový zesilovač typ VT 5041.....	27
7.	Návrh obvodu a potřebné výpočty	30
7.1.	Volba hydrogenerátoru.....	31
7.2.	Výpočet parametrů hydrogenerátoru.....	32
7.3.	Volba hydromotoru.....	32
7.4.	Výpočet parametrů hydromotoru.....	33
7.5.	Návrh velikosti nádrže.....	33
7.6.	Nárůst teploty oleje při tlakovém spádu.....	34
7.7.	Výpočet oteplení obvodu	34
7.8.	Volba hydraulické kapaliny	36
7.9.	Návrh hydraulického potrubí	36
7.10.	Sestavení obvodu	37
8.	Specifikace prvků v obvodu.....	40
8.1.	Axiální pístový hydrogenerátor typ A4VSO.....	40
8.2.	Elektromotory	40
8.3.	Axiální pístový hydrogenerátor A10VSO	41
8.4.	Hydromotor.....	41
8.5.	Ostatní prvky v obvodu	42
9.	SPECIFIKACE KOMPONENTŮ PRO ELEKTRICKÉ OVLÁDÁNÍ	43
9.1.	Analogový procesorový převodník APP03	43
9.2.	Komponenty pro elektročást ovládací skříně:	44
10.	Návod na kalibraci Hydrogenerátoru.....	46
10.1.	Měření.....	46
10.1.1.	Měření bez přídavné kapacity v základním nastavení karty	46

10.1.2.	Měření s přídavnou kapacitou v základním nastavení karty.....	48
10.1.3.	Měření bez přídavné kapacity při zesílení.....	49
10.1.4.	Měření s přídavnou kapacitou při zesílení	50
10.2.	Nastavení výkonu	51
10.2.1.	Nastavení výkonu přímo na kartě pomocí výpočtu.	51
10.2.2.	Změřením maximálního proudu, který jde do elektromotoru.....	52
11.	Závěr.....	54
12.	Použitá literatura.....	55
13.	Seznam příloh.....	60

1. SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

ρ	hustota	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
π	Ludolfovo číslo	$[-]$
Δp	Tlakový spád	$[\text{Pa}]$
V_g	Geometrický objem	$[\text{cm}^3]$
v	rychlost	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
V	objem	$[\text{m}^3]$
U	elektrické napětí	$[\text{V}]$
T_K	časová konstanta	$[\text{s}]$
Δt	teplota	$[\text{°C}]$
τ	čas	$[\text{s}]$
S_N	plocha nádrže	$[\text{m}^2]$
V_N	objem nádrže	$[\text{m}^3]$
Q_V	objemový průtok	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
M	krouticí moment	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
P	výkon	$[\text{W}]$
p	tlak	$[\text{Pa}]$
η	Účinnost	$[-]$
n	otáčky	$[\text{s}^{-1}]$
m	hmotnost	$[\text{kg}]$
k	součinitel přestupu tepla	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
J	moment setrvačnosti	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
I	elektrický proud	$[\text{A}]$
c	Měrná tepelná kapacita	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

2. ÚVOD

Elektronické regulace hydrogenerátorů patří v současné době k nejrozšířenějším typům, které se implementují do systémů v kombinaci s axiálními pístovými jednotkami. Dnešní trendy vedoucí ke snižování energetické náročnosti zároveň umožnily stabilnější a přesnější regulaci. Jejich velkou výhodou je snadné uvedení do provozu. Elektronické regulace pracují s velmi malými elektrickými signály, které se díky elektrohydraulickému převodníku změny na hydraulickou veličinu, která dále řídí hydrogenerátor.

Axiální pístové hydrogenerátory jsou regulační díky možnosti naklopení desky, která je uložena v ložiskovém lůžku. Tyto jsou v dnešní době nejčastěji používanými regulačními hydrogenerátory. Jednou z možností jejich regulace je elektronická regulace hydrogenerátorů, která spočívá v připojení elektrických komponent na hydrogenerátor. Kromě hydrogenerátoru je třeba indukčního převodníku, převodníku tlaku a zesilovací karty. Dále je třeba proporcionální ventil, který slouží k přesnému ovládání.

Cílem této práce je vytvoření experimentálního pracoviště pro zkoušení, testování, kalibraci, nastavení a optimalizaci pracovních parametrů regulace hydrogenerátorů a to typů A10VSO a A4VSO. Technické řešení pohonných jednotek pro zkoušení elektronické regulace DFE1 a hydraulicko-mechanické regulace DFLR u hydrogenerátoru A10VSO umožňuje porovnání a jednoznačné definování výhod či nevýhod implementací těchto regulací v kombinaci s axiálními pístovými hydrogenerátory do systémů. Dalším cílem této práce je sestavení kompletního hydraulického obvodu, definice vhodných komponent, realizace potřebných technických výpočtů, aby byla zajištěna správná funkce zařízení a dodrženy všechny bezpečnostní požadavky na hydraulické zařízení, zejména z pohledu tlakové zátěže. Posledním z cílů práce je vytvoření návodu na kalibraci hydrogenerátoru A4VSO s elektronickou regulací DFE1, nastavení zesilovací karty VT5041 pro různé typové případy kapacit mezi hydrogenerátorem a rozváděcím blokem, nebo hlavním směrovým ventilem. Posledním cílem diplomové práce je uvedení celého zařízení do provozu, odzkoušení funkce jednotlivých prvků, realizace měření tlaků/průtoku v obvodu a nastavení výkonu hydrogenerátoru podle velikosti elektromotoru.

3. ROTAČNÍ PÍSTOVÉ HYDROGENERÁTORY

Pístové hydrogenerátory jsou založeny na posuvném pohybu pístu ve válci, kde otáčející se hřídel s externím pohonem pohání zdvih pístů. Obvykle se u těchto rotačních hydrogenerátorů používá liché množství malých pístů, které jsou umístěny do kruhu. Axiální či radiální provedení hydrogenerátoru určujeme podle toho, v jakém směru se písty pohybují ve směru k uložení hřídele. Tedy jestli se vysouvají ve směru kolmém či podélném.

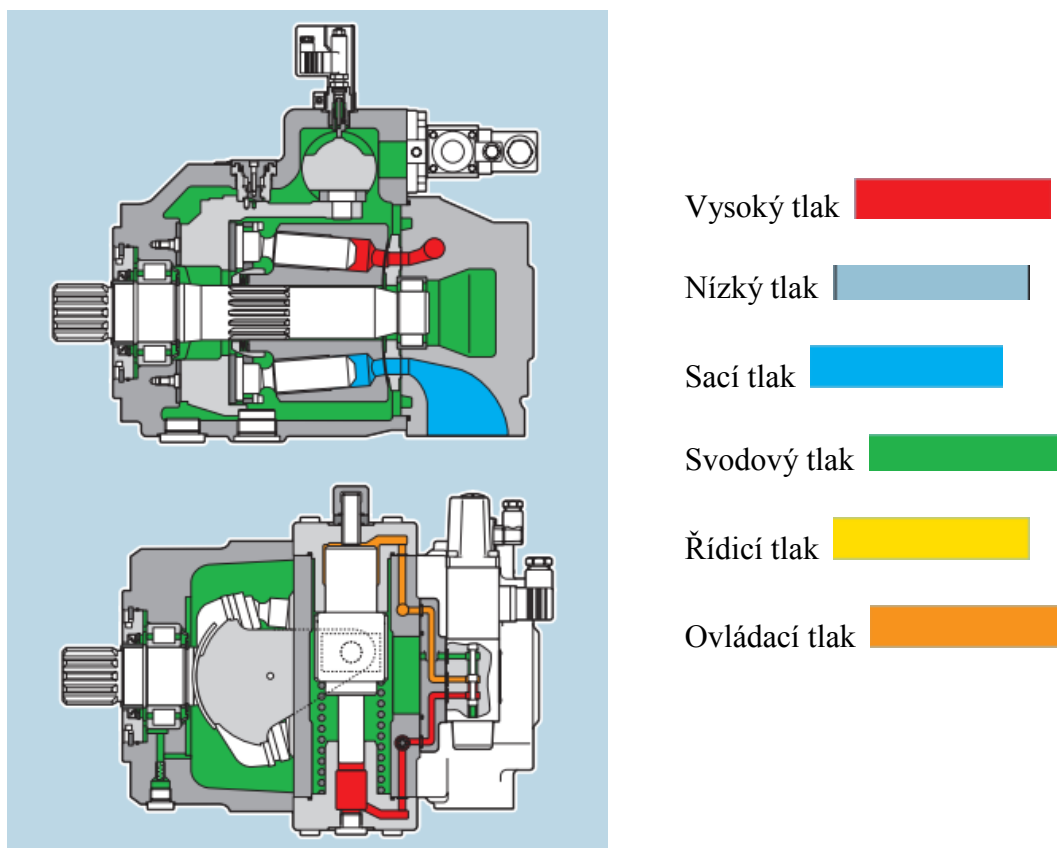
Radiální pístové hydrogenerátory jsou vhodné pro vysokotlaké aplikace v systému, neboť dokáží i při nízkých otáčkách generovat vysoké tlaky. Oproti jiným hydrogenerátorům však dokáží dosáhnout pouze velmi malých průtoků. Nejvhodnějšími médii pro čerpání jsou ty, které mají vyšší viskozitu.

Radiální pístové hydrogenerátory bývaly dříve nejrozšířenějšími pístovými hydrogenerátory, protože jejich předností je, že mohou pracovat s nejvyššími pracovními tlaky. V dnešní době se již tato zařízení používají jen v omezené míře.

Nejpoužívanějším typem hydrogenerátoru je v dnešní době hydrogenerátor axiální pístový, obzvláště v těžkých průmyslových aplikacích a hydraulických převodových mechanismech mobilních strojů. Existují ve dvou konstrukčních provedeních, a to s nakloněnou deskou nebo s nakloněným bokem. Pokud má nakloněná deska či bok konstantní úhel, jedná se o neregulační hydrogenerátor (pro konstantní průtok). Regulační je pak ten, který má možnost měnit maximální úhel od maxima do nuly, popřípadě do opačné maximální polohy.

3.1. Regulační hydrogenerátor A4VSO

Regulační hydrogenerátor A4VSO se používá v otevřených hydraulických obvodech. Je to axiální pístový hydrogenerátor, který se reguluje pomocí úhlu natočení šikmé desky. Tudíž pokud dojde k přestavění šikmé desky, tak se dá dosáhnout plynulé regulace geometrického objemu. Toto zařízení vyniká nízkou hlučností a vysokou životností. Má dobré vlastnosti v procesu sání a jeho jmenovitý přípustný tlak je 35 MPa. Další výhodou je jeho příznivý poměr výkonu k hmotnosti a má krátké regulační časy. Jeho výstupní hřídel snese radiální i axiální zatížení a pro kombinaci více hydrogenerátorů lze použít průběžná hřídel. Montážní poloha tohoto hydrogenerátoru je naprosto libovolná. Dá se tedy umístit v nádrži i mimo nádrž a to jak ve vertikální, tak i v horizontální poloze. Důležité ale je, aby jeho skříň byla zaplněna pracovní kapalinou při uvádění do provozu i během provozu. Všechna propojení s nádrží jsou pomocí pružných prvků, díky čemuž se docílí příznivé hlučnosti. Při konstantním průřezu potrubí proudí kapalina z průsaků rovnou do nádrže. Tedy v potrubí průsaků není instalován jednosměrný ventil.

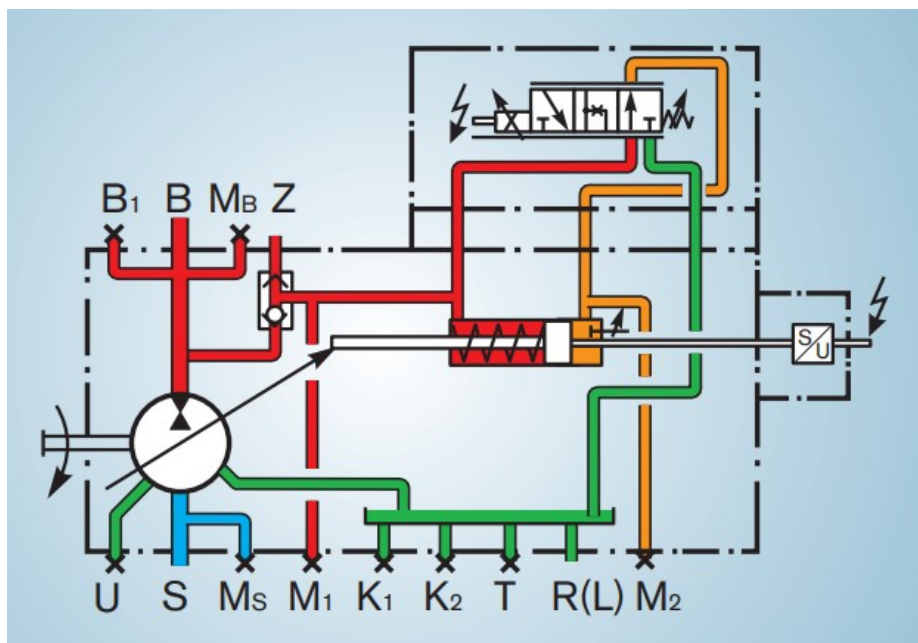


Obr. 1 – Axiální pístový hydrogenerátor A4VSO [5]

Tento hydrogenerátor má mnoho možností regulace. Regulace DR udržuje v hydraulickém systému konstantní tlak. Velikost tlaku lze nastavit mezi 2 až 35 MPa a může být i dálkově ovládaná. Regulace DP má stejné vlastnosti jako DR, ale používá se při paralelním provozu více axiálních pístových hydrogenerátorů A4VSO. Navíc se dá rozšířit o regulaci na konstantní průtok. Při regulaci FR už neregulujeme na konstantí tlak, ale regulujeme průtok v hydraulickém systému. Může být taktéž dálkově ovladatelná a v některých případech (FR1, FRG1) je clona v kanále X zazátkována. Regulace DFR už zajišťuje dvojí regulaci. Regulace tlaku je nadřazená a udržuje geometrický objem konstantní také, za jiných pracovních podmínek. Regulace na konstantní tlak už je pak mechanicky nastavitelná. Při použití DFR1 je zazátkována clona v kanále X. LR2 je regulace na konstantní výkon s hyperbolickou charakteristikou. Při stejném počtu otáček udržuje na konstantní úrovni zadané hodnoty výkonu. Jde také nastavit na dálkové ovládání nebo například rozšířit o regulaci na konstantní tlak. Regulace MA s ručním ovládáním funguje na principu kolečka, které udává plynulou regulaci na konstantní průtok. Pokud máme v obvodu elektrický regulační motor, je možno regulovat elektromotoricky EM na konstantní průtok. Mezipolohy zařízení se dají zadávat pomocí koncového spínače nebo potenciometru. Další možností hydraulické regulace na konstantní průtok je HW regulace, která je závislá na zdvihu šoupátka, HD, která závisí na řídicím tlaku, HM závislá na množství kapaliny. HS regulace se řídí proporcionálním ventilem nebo servoventilem. Hydraulická regulace EO je realizována proporciálním ventilem a elektrickou zpětnou vazbou, která hlásí polohu vychýlení šikmé desky. Je možné také regulovat otáčky pomocí sekundární regulace DS1.

3.1.1. Elektrohydraulický regulační systém DFE1 pro hydrogenerátor A4VSO:

Elektricky ovládaný proporcionální ventil řídí výkon, tlak a průtok. Proud na proporcionálním ventilu určuje úhel natočení šikmé desky a tím průtok hydrogenerátoru. S vypnutým elektromotorem a s pohonným systémem bez tlaku se hydrogenerátor vyklopí na maximální geometrický objem prostřednictvím síly pružiny.

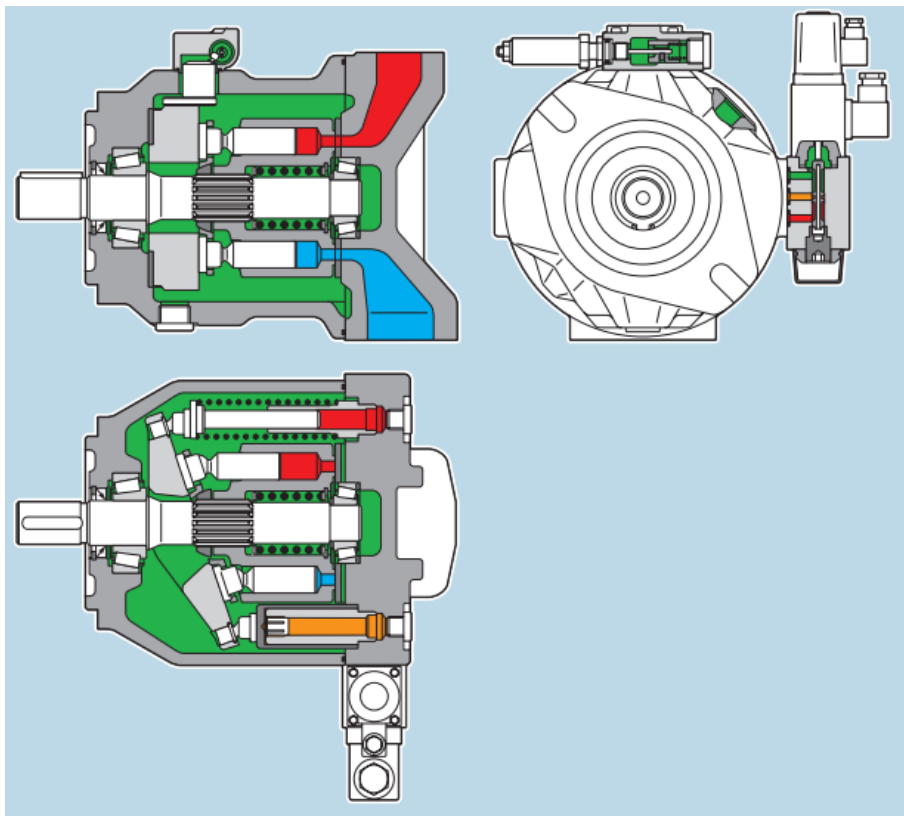


Obr. 2 - Elektrohydraulický řídicí systém DFE1 [6]

S – sací otvor, B – tlakový port, B₁ – další připojení tlakového portu, K₁ a K₂ – proplachovací porty, T – vypouštěcí port, M_B – port pro měření pracovního tlaku, M_S – port pro měření sacího tlaku, R (L) – svodový otvor, U – proplachovací port, M1 a M2 – měřicí místa tlaku pro regulaci, Z – port pro přívod externího tlaku

3.2. Regulační hydrogenerátor A10VSO

A10VSO je axiální pístový objemový hydrogenerátor s nakloněnou deskou pro hydrostatické pohony v otevřeném okruhu. Objemový průtok lze plynule regulovat pomocí náklonné desky. Tento hydrogenerátor má velmi dobré sací vlastnosti, nízkou hladinu hluku, dlouhou životnost a má příznivý poměr hmotnosti a výkonu. Je na něj navržen univerzální program regulátoru, jenž zajišťuje krátký čas regulace. A10VSO je vhodný pro provoz s minerálním olejem a těžko zápalnými hydraulickými kapalinami.

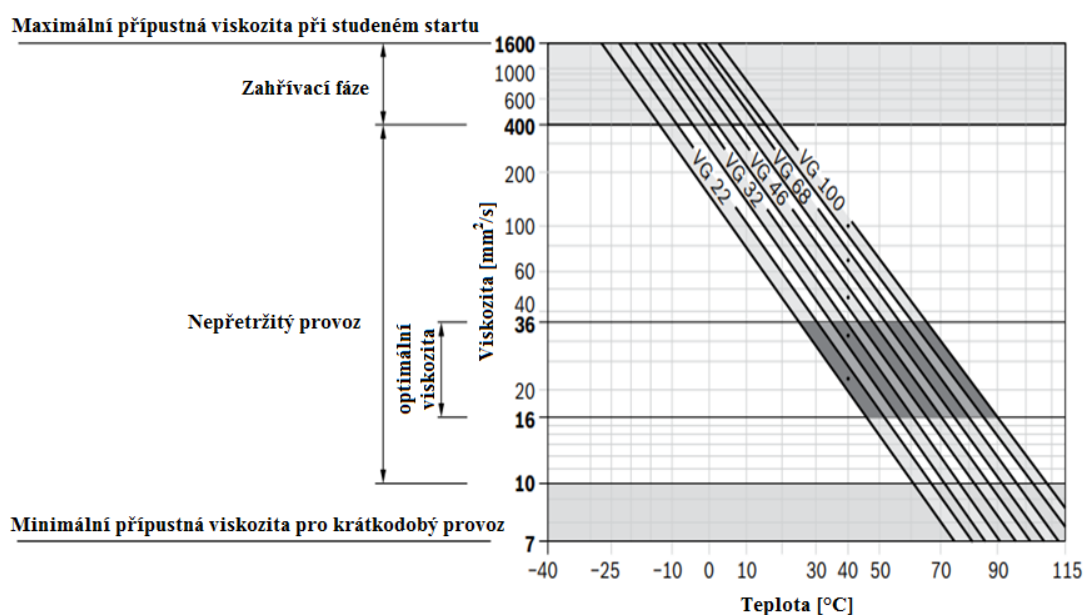


Obr. 3 - Axiální pístový hydrogenerátor A10VSO [8]

Výběr hydraulické kapaliny pro hydrogenerátor A10VSO by měl být proveden tak, aby byla provozní viskozita a rozsah provozních teplot v optimálním poměru (viz výběrový diagram).

	Viskozita	Těsnění	Teplota
Studený start	$v_{\max} \leq 1600 \text{ mm}^2/\text{s}$	NBR ²⁾	$\theta_{\text{St}} \geq -40 \text{ }^\circ\text{C}$
		FKM	$\theta_{\text{St}} \geq -25 \text{ }^\circ\text{C}$
Zahřívací fáze	$v = 1600 \dots 400 \text{ mm}^2/\text{s}$		
Nepřetržitý provoz	$v = 400 \dots 10 \text{ mm}^2/\text{s}^{1)}$	NBR ²⁾	$\theta \leq +85 \text{ }^\circ\text{C}$
		FKM	$\theta \leq +110 \text{ }^\circ\text{C}$
	$v_{\text{opt}} = 36 \dots 16 \text{ mm}^2/\text{s}$		
Krátkodobý provoz	$v_{\min} = 10 \dots 7 \text{ mm}^2/\text{s}$	NBR ²⁾	$\theta \leq +85 \text{ }^\circ\text{C}$
		FKM	$\theta \leq +110 \text{ }^\circ\text{C}$

Obr. 4 - Viskozita a teplota hydraulických kapalin [8]



Obr. 5 – Diagram pro specifikaci viskozní třídy pracovní kapaliny [9]

Pokyny k použití a aplikační požadavky pro hydraulické kapaliny jsou před planováním projektu brány z následujících listů:

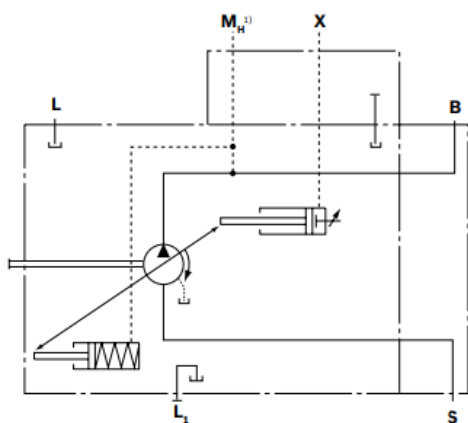
- 90220 – Hydraulické kapaliny na bázi minerálních olejů a příbuzné uhlovodíky.
- 90221 – Hydraulické kapaliny šetrné k životnímu prostředí.
- 90222 – Těžko-zápalné bezvodé hydraulické kapaliny
- 90223 – Axiální pístové převodníky pro provoz s těžko-zápalnými kapalinami
- 90225 – Technické údaje pro provoz zařízení s těžko-zápalnými hydraulickými kapalinami

3.2.1. Regulace hydrogenerátoru A10VSO

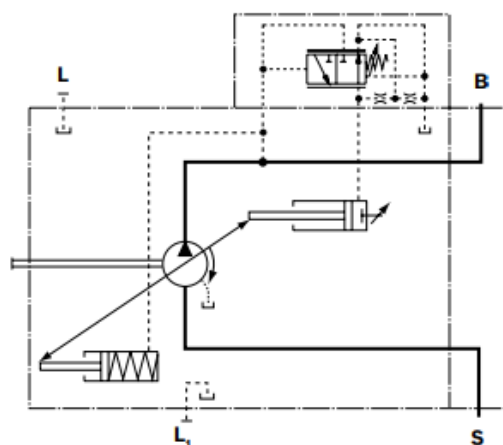
Hydrogenerátor A10VSO může být regulován několika způsoby:

DG – Dvoubodové nastavení, přímo ovládané:

Hydrogenerátor je nastaven na minimální úhel naklopení desky zapnutím externího spínacího tlaku na portu X. Řídicí píst je pak přímo naplněn tekutinou, přičemž je vyžadován minimální signální tlak 5 MPa. Hydrogenerátor lze přepínat pouze mezi minimálním a maximálním geometrickým objemem. Port X je přímo závislý na úrovni provozního tlaku p_B v portu B. Maximální přípustný tlak je 28 MPa.



Obr. 6 - Obvod regulace DG pro A10VSO [8]



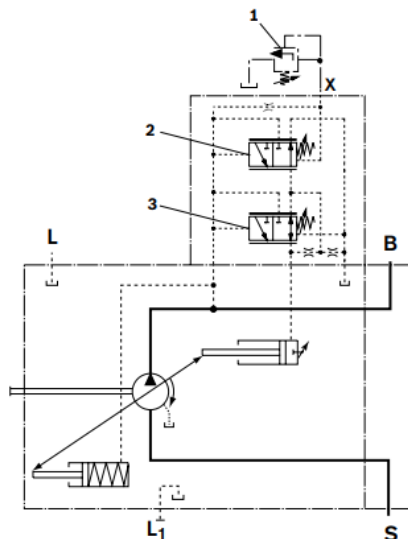
Obr. 7 - Obvod regulace DR pro A10VSO [8]

DR – Regulátor tlaku:

Regulátor tlaku omezuje maximální tlak na výstupu hydrogenerátoru v regulačním rozsahu. Hydrogenerátor čerpá pouze tolik hydraulické kapaliny, kolik spotřebiče vyžadují. Pokud provozní tlak překročí tlak nastavený na tlakovém ventilu, hydrogenerátor reguluje ve směru menšího výtlaku a je snížena regulační odchylka. Základní poloha náklonné desky při odtlačování je na maximální geometrický objem. Rozsah tlaku pro regulaci je 2 až 28 MPa.

DRG – Regulátor tlaku dálkově ovládaný:

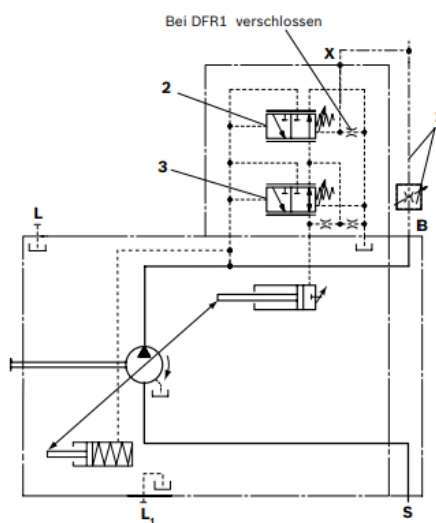
U dálkově ovládaného regulátoru tlaku je tlak omezen samostaně uspořádaným tlakovým ventilem, což umožňuje jakoukoli regulační hodnotu tlaku, jenž může být nižší než tlak nastavený na regulátoru tlaku. Zbytek obvodu je stejný jako u regulátoru DR.



Obr. 8 – Obvod regulace DRG pro A10VSO [8]

DFR/DFR1 – Regulátor tlaku a průtoku

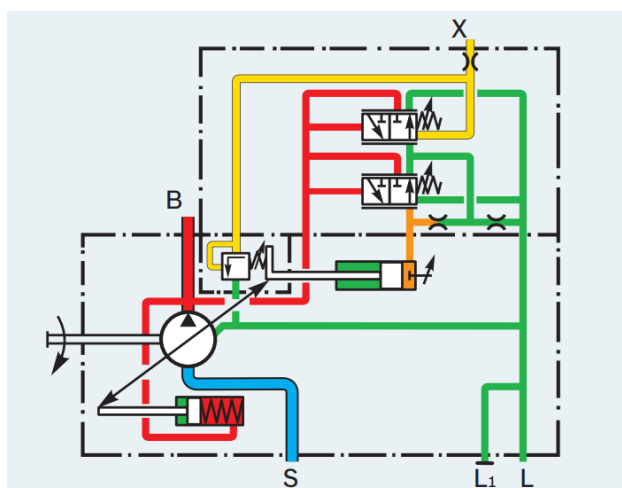
Kromě funkce regulátoru tlaku se pomocí nastavitelného ventilu (například směrového regulačního ventilu) nastavuje diferenční tlak před a za clonou, která reguluje průtok. Hydrogenerátor dopravuje množství hydraulické kapaliny skutečně požadované spotřebičem. Redukce geometrického objemu má prioritu pro všechny kombinace regulátorů.



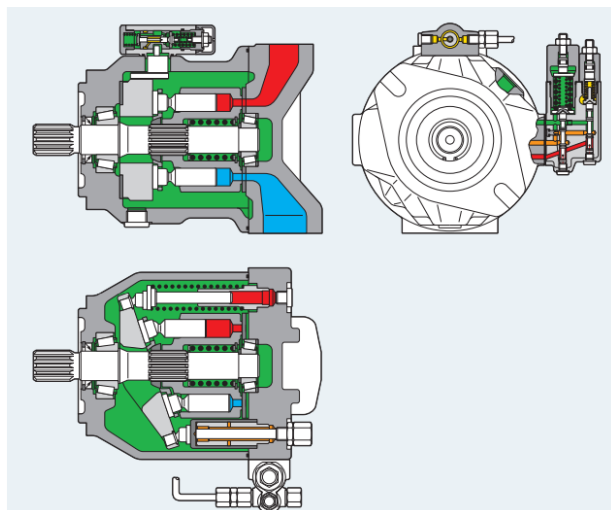
Obr. 9 - Obvod regulace DFR/DFR1 pro A10VSO [8]

DFLR – Regulátor tlaku, průtoku a výkonu:

DFLR má vybavení regulátoru tlaku DR a vybavení regulátoru průtoku DFR1. Pro dosažení konstantního hnacího momentu se úhel natočení stává závislým na provozním tlaku a tak se průtoková rychlost axiálního pístového hydrogenerátoru mění tak, že součin průtoku a tlaku zůstává konstantní. Řízení toku je pod výkonovou křivkou možné. U jednotlivých velikostí hydrogenerátorů lze určitým způsobem optimalizovat výkonové křivky, podle charakteru pohonu a hnacího motoru. Ovšem vždy při dimenzování hydrogenerátoru s výkonovou regulací do hydraulického obvodu je potřeba s touto skutečností počítat a uvést vždy do specifikace požadovaný výkon elektromotoru. Velkou výhodou výkonové regulace je dosažení maximálního objemového průtoku v čase, kdy není potřeba max. tlak a opačně. Hydraulické systémy se takto stávají mnohem sofistikovanější a vykazují daleko lepší parametry, nežli při konvenčním použití tlakových regulátorů.



Obr. 10 - Obvod regulace DFRL pro A10VSO [8]



Obr. 11 – Axiální pístový hydrogenerátor A10VSO DFLR [8]

4. REGULACE HYDROGENERÁTORU

Regulace hydrogenerátoru jsou realizovány pomocí hydraulicko-mechanického či elektrohydraulického regulačního zařízení. Nejčastěji se hydrogenerátory regulují na konstantní tlak či průtok.

Jsou dva způsoby regulace tlaku. První způsob je nastavení konstantní hodnoty maximálního tlaku. Jakmile se dosáhne tohoto tlaku, dojde k prudkému poklesu průtoku a to na minimální nebo až nulovou hodnotu. Jakmile dojde k odlehčení hydrogenerátoru, průtok se opět ihned zvedne na maximální hodnotu. Druhým způsobem se pomocí tlakového regulátoru postupně snižuje průtok, čímž z nastaveného tlaku dochází k jeho zvyšování, až po maximální hodnotu. První způsob se používá pro řízení otáček hydromotoru při konstantním tlaku, zatímco druhý způsob je používán například u hydraulických lisů, kde dochází k rychlému přísunu lisovací části při malém tlaku a pak pomalého přísunu při lisování rostoucí silou.

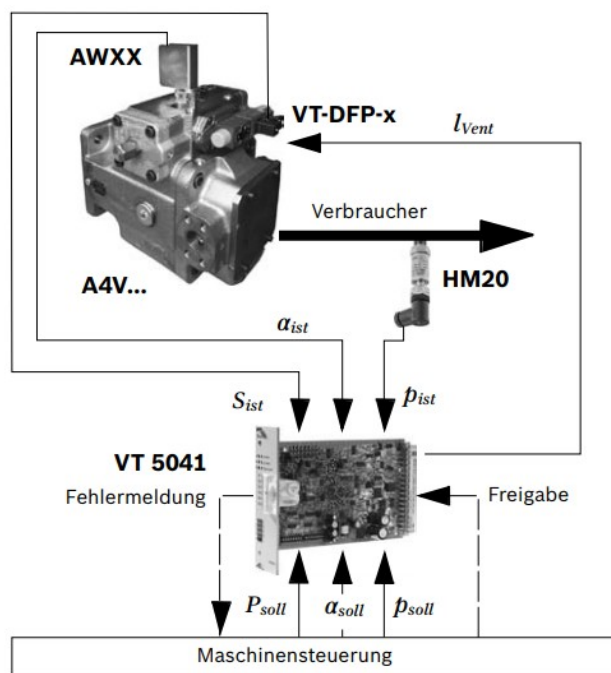
Od tlaku v systému se odvodila regulace průtoková, která funguje na principu přenášeného hydraulického výkonu, který má být konstantní. Tohoto způsobu se používá u hydraulických převodů, kde bývá hydrogenerátor poháněn spalovacím motorem, a tudíž lze dosáhnout optimálních podmínek při práci. Dále se tento způsob dá také použít pro udržení konstantních otáček hydromotoru v obvodu, kdy spalovací motor pracuje se změnou zatížení a v hydrogenerátoru by docházelo ke změnám průtoku. Otáčky jsou pak snímány a používány pro regulaci geometrického objemu.

Výše uvedené regulace pracují na principu hydraulicko-mechanickém a mají své nevýhody, jimiž mohou být nestabilita, nepřesnost a jsou ovlivňovány teplotou kapaliny. Oproti nim jsou elektrohydraulické regulace přesnější a univerzálnější. Bývají součástí automatizovaných systémů strojů, kde pracují s elektrickými řídicími signály. Základem je elektrohydraulický převodník, ve kterém se elektrický signál získaný od snímače průtoku, tlaku či teploty mění na řídicí hydraulickou veličinu, jež působí na vlastní ovládací mechanismus hydrogenerátoru.

5. ELEKTROHYDRAULICKÝ REGULAČNÍ ŘÍDICÍ SYSTÉM DFE1

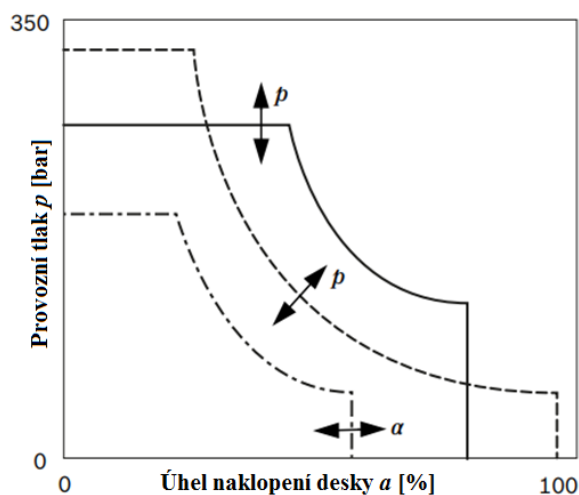
Řídicí systém DFE1 se skládá z následujících komponentů:

- Vysokotlaký axiální pístový hydrogenerátor A4VSO v konstrukci s náklonovou deskou pro průmyslové použití.
- Proporcionální ventil VT-DFP-x-2X, který slouží k přesnému ovládání s monitorováním polohy.
- Indukční převodník AWXX v polohovacím systému pro detekování úhlu natočení desky.
- Převodník tlaku HM 20-2x, který zaznamenává tlak v systému. Je velmi důležitý pro funkci regulace tlaku či výkonu.
- Analogový zesilovač VT5041-3x



Obr. 12 - Elektrohdraulický řídicí systém DFE1 [6]

α_{soll} – žádaná hodnota úhlu natočení desky, α_{ist} – skutečná hodnota úhlu natočení desky, p_{soll} – žádaná hodnota tlaku, p_{ist} – skutečná hodnota tlaku, S_{ist} – skutečná hodnota polohy šoupátka, Verbraucher – spotřebič, Fehlermeldung – chybové hlášení, Freigabe – uvolnění, Maschinensteuerung – ovládání stroje



**Obr. 13 - Graf závislosti provozního tlaku
na úhlu natočení šikmé desky [6]**

Funkce:

Pomocí řídicího systému DFE1 se provádí regulace tlaku a úhlu natočení desky, popřípadě omezení výkonu variabilního objemového hydrogenerátoru A4VSO. Průtok hydrogenerátoru u elektricky ovládaného proporcionálního ventilu je určen polohou regulačního pístu a snímače dráhy a takto je možno přizpůsobovat objemový průtok hydrogenerátoru. Pokud je elektromotor vypnutý a zároveň je ovládací systém pod tlakem, pomocí pružiny se hydrogenerátor dostane na maximální geometrický objem V_{gmax} .

Pokud je proporcionální ventil bez napětí a je uzavřený výstup hydrogenerátoru, dochází k tzv. tlaku nulového zdvihu, kdy geometrický objem hydrogenerátoru je minimální V_{gmin} . V tomto provozním stavu je tlak 0,4 až 0,8 MPa. To samé platí také v případě chyby, nebo pokud není řadič povolen.

Existují 3 způsoby pro zajištění hydraulického řídicího systému hydrogenerátoru a tím i řídicí energie.

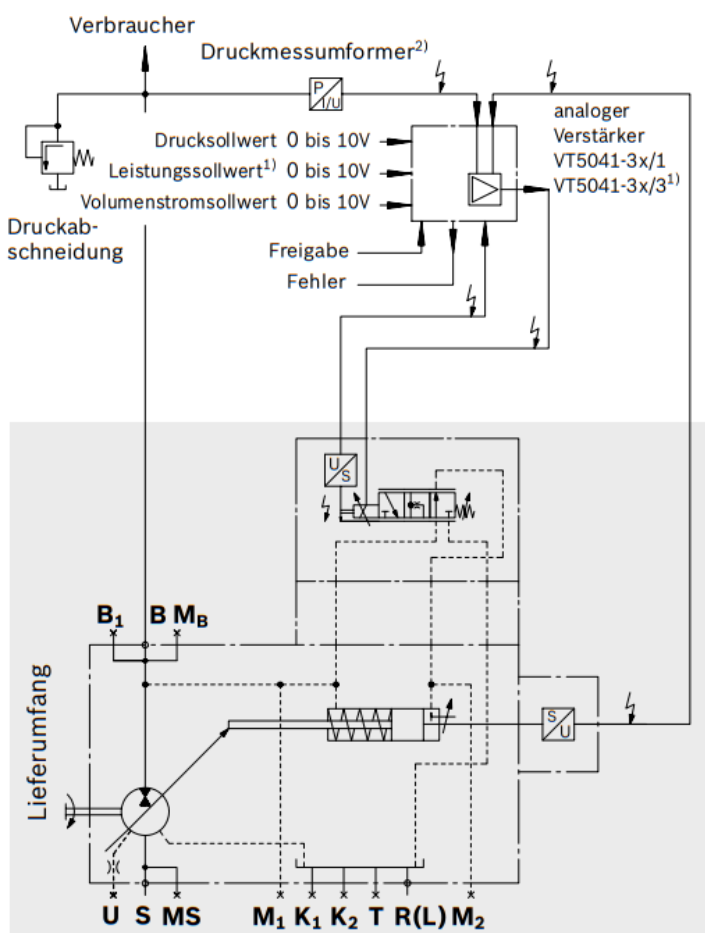
- Interní (DFE1) s vlastním napájecím médiem
- Interní (DFE1) s blokem předpětí
- Externí (DFE1Y, DFE1Z) s napájením portu externího tlaku

Proportionální ventil řídí karta analogového ovladače VT 5041. Tato karta zpracovává všechny řídicí signály potřebné k ovládání systému. Pomocí snímače tlaku je zaznamenávána skutečná hodnota tlaku, snímač posuvu zaznamenává skutečnou hodnotu

úhlu natočení. Tyto hodnoty jsou pak zpracovány v zesilovači a porovnávají se se zadanými cílovými hodnotami. Výstupní signál generátoru minimální hodnoty je žádaná hodnota pro proporcionální solenoid na ventilu. Díky proporcionálnímu ventilu se dosahuje lepší kontroly kvality celého systému.

DFE1 – napájení vnitřního kontrolního systému:

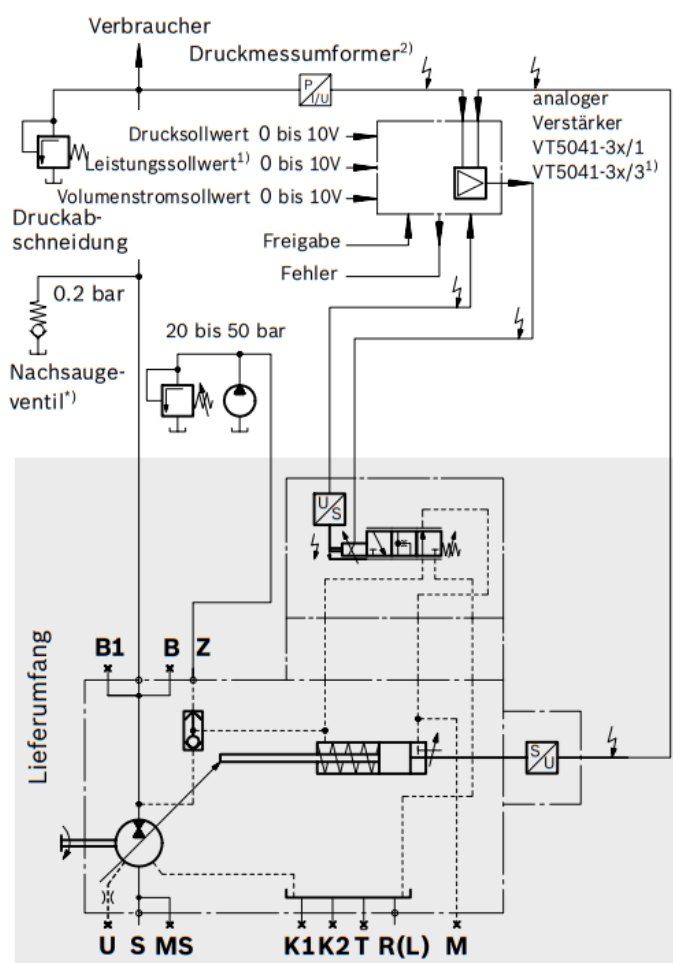
Rozsah naklopení desky u A4VSO je $\pm 100\%$. Ovládací energie je vnitřní a tlak v systému musí být vždy mezi 0,4 až 0,8 MPa, stejně jako u tlaku nulového zdvihu. Při vyšším tlaku se hydrogenerátor pokusí znovu maximalizovat geometrický objem, bez ohledu na žádanou hodnotu ventilu. Pokud je dosaženo vyššího tlaku v portu B, směr toku hydrogenerátoru může být obrácený. Proto se implementuje za hydrogenerátor jednosměrný ventil.



Obr. 14 - Schéma systému A4VSO DFE1 [6]

DFE1Y – Externí napájení řídicího systému:

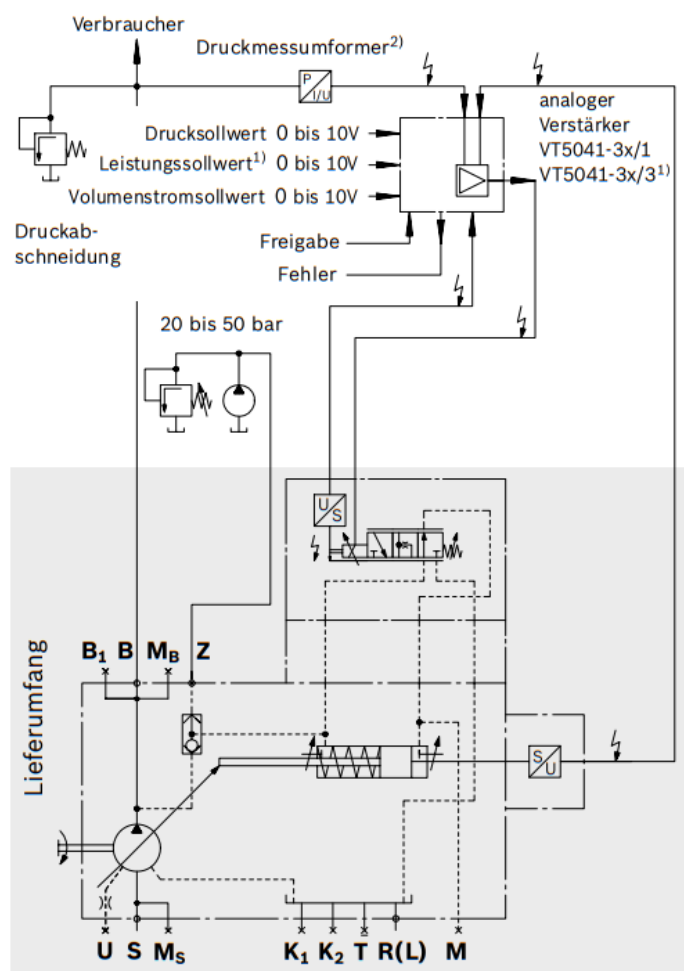
Rozsah naklopení je -100% až 100%. Řídicí tlak nabývá hodnot 2 – 5 MPa a je dodáván z vnějšího zdroje, například pomocí zubového hydrogenerátoru. Výběrový ventil se může automaticky přepnout na vnitřní dodávku. Tato verze je zvláštní tím, že může být obrácen směr toku kapaliny, a to dokonce i při tlacích nižších než 0,4 – 0,8 MPa. Tento proces je možný, protože tlak pomocného hydrogenerátoru udržuje konstantní hodnoty řídicího tlaku na proporcionální ventil ovládání hydrogenerátoru.



Obr. 15 - Schéma systému A4VSO DFE1Y [6]

DFE1Z – Externí napájení řídicího systému:

U externího napájení řídicího systému DFE1Z je otočný rozsah 0 až 100%. Energie polohování nabývá hodnot 2 - 5MPa a je plněna z externího zdroje, například přes zubový hydrogenerátor. DFE1Z obsahuje omezovací šroub, který brání naklopení desky do záporné polohy. U tohoto typu již není možná dekomprese tlaku v systému pomocí hydrogenerátoru.



Obr. 16 – Schéma systému A4VSO DFE1Z [6]

6. EXTERNÍ ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKA PRO REGULACI DFE1 – ANALOGOVÝ ZESILOVAČ TYP VT 5041.

Elektronická karta je součástí regulačního systému SY.DFE1, která je určena pro řízení axiálních pístových hydrogenerátorů a reguluje na konstantní tlak, průtok, případně omezuje výkon. Je to zasouvací karta, která se umísťuje do držáku. Má dva vstupy. Jeden vstup je pro žádané hodnoty tlaku a druhý vstup je pro úhel vychýlení šikmé desky. Druhý vstup by se dal také použít pro omezování výkonu. Pomocí převodníku tlaku se snímá jeho skutečná hodnota. Na hydrogenerátoru musí být umístěn snímač dráhy, který má funkci snímání úhlu vychýlení šikmé desky. V zesilovači jsou upravovány skutečné hodnoty a porovnávány s hodnotami požadovanými. Žádaná hodnota pro regulační obvod ventilu je ukazována pomocí výstupního signálu generátoru minimální hodnoty. Jeho úkolem je aktivovat regulátor, který je k žádané pracovní poloze přiřazen.

Druhou možností je dosažení omezení výkonu, které je automaticky aktivováno, jakmile se zadají příslušné žádané hodnoty. Tato hodnota bývá zadávána buď interně, nebo externě. Pokud je potřeba, působí přes generátor minimální hodnoty přímo na regulátor úhlu naklonění šikmé desky hydrogenerátoru.

Poloha šoupátka ventilu se snímá pomocí indukčního snímače dráhy. Hodnoty jsou pak upravovány v oscilátoru či demulátoru. Regulační odchylka je generována v regulátoru pro skutečnou polohu ventilu a je pak dále zpracovávána. Proporcionální magnet ventilu je ovládaný pomocí žádané hodnoty pro samotaktovací koncové stupně, který generuje výstupní signál regulátoru ventilu.

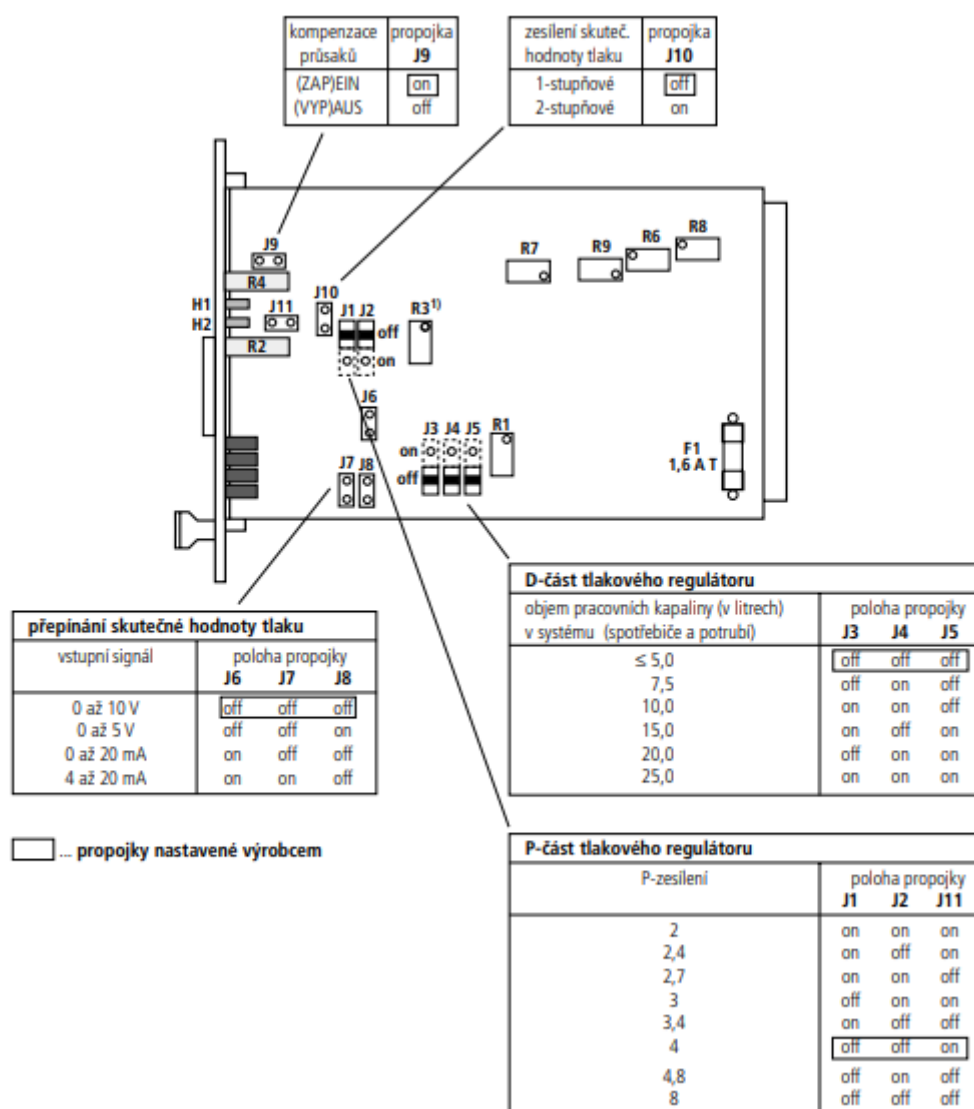
Kvůli možnosti poruch, je na kartě umístěn výstup pro hlášení poruchy. Pokud porucha vznikne, na daném výstupu se objeví 0V. Pro tento případ je na kartě umístěna kontrolka LED H1, která se rozsvítí a koncový stupeň se sepne bez proudu. V tom případě se šoupátko vrátí do základní polohy pomocí pružiny. Pro zrušení chyby je třeba zresetovat nastavení signálu nebo vypnout provozní napětí.

Hlášení poruchy může vzniknout z těchto důvodů:

- Pokud je skutečný tlak vyšší než přípustný systémový tlak.
- Dojde-li k přehřátí koncového stupně.
- Dojde-li k poškození některého z kabelů (proporcionální magnet, tlakový snímač...)

- Je-li na přípoji 26c absence signálu uvolnění.
- Překročením rozsahu vychýlení šikmé desky čerpadla.
- Přetížením systému snímání polohy šoupátka ventilu.

Pokud dochází k většímu úniku kapaliny z průsaků v obvodu pro regulaci úhlů vychýlení desky čerpadla, je možno jej kompenzovat pomocí potenciometru.



Obr. 17 - Analogový zesilovač typ VT 5041 [29]

Nastavení potenciometrů:

R1 – nulový bod – skutečná hodnota tlaku (vyvážení amplitudy – snímač tlaku)

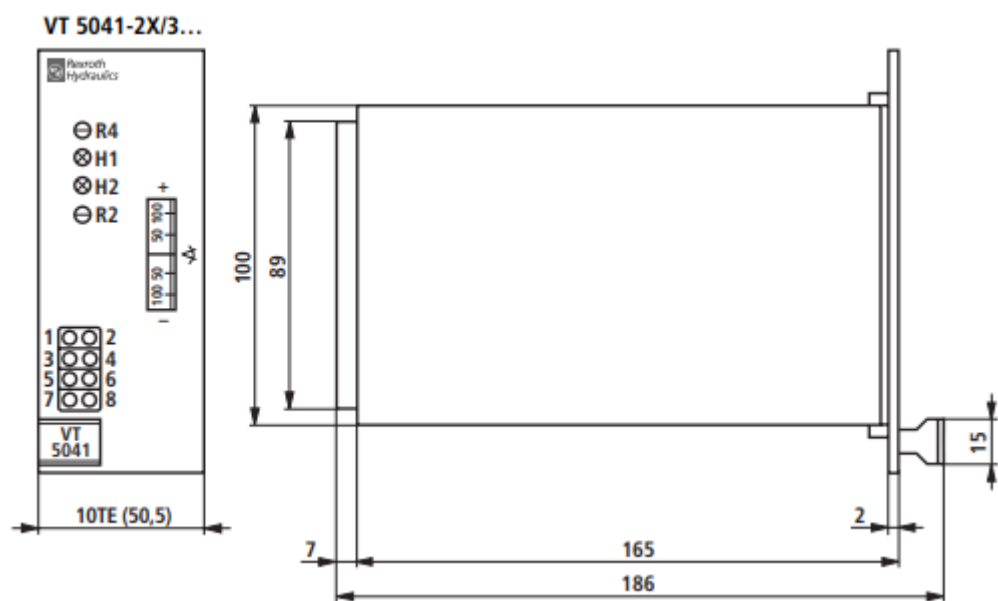
R2 – amplituda – skutečná hodnota tlaku (nastavení výrobce: pravý doraz = max. zesílení)

R3 – žádaná hodnota výkonu → přičte se k externě zadané žádané hodnotě (nastavení výrobce (levý doraz = max. zesílení)

- R4 – kompenzace průsaků (nastavení výrobce: pravý doraz = max. kompenzace)
- R6 – nulový bod – snímač polohy šoupátka ventilu
- R7 – amplituda – snímač polohy šoupátka ventilu (nastavení výrobce)
- R8 – nulový bod – snímač úhlu vychýlení šikmé desky šoupátka
- R9 – amplituda – snímač úhlu vychýlení šikmé desky šoupátka (nastavení výrobce)

Kontrolky LED:

- H1 – porucha / uvolnění není (červená)
- H2 – interní napájecí napětí (zelená)



Obr. 18 - Zesilovací karta VT 5041 [29]

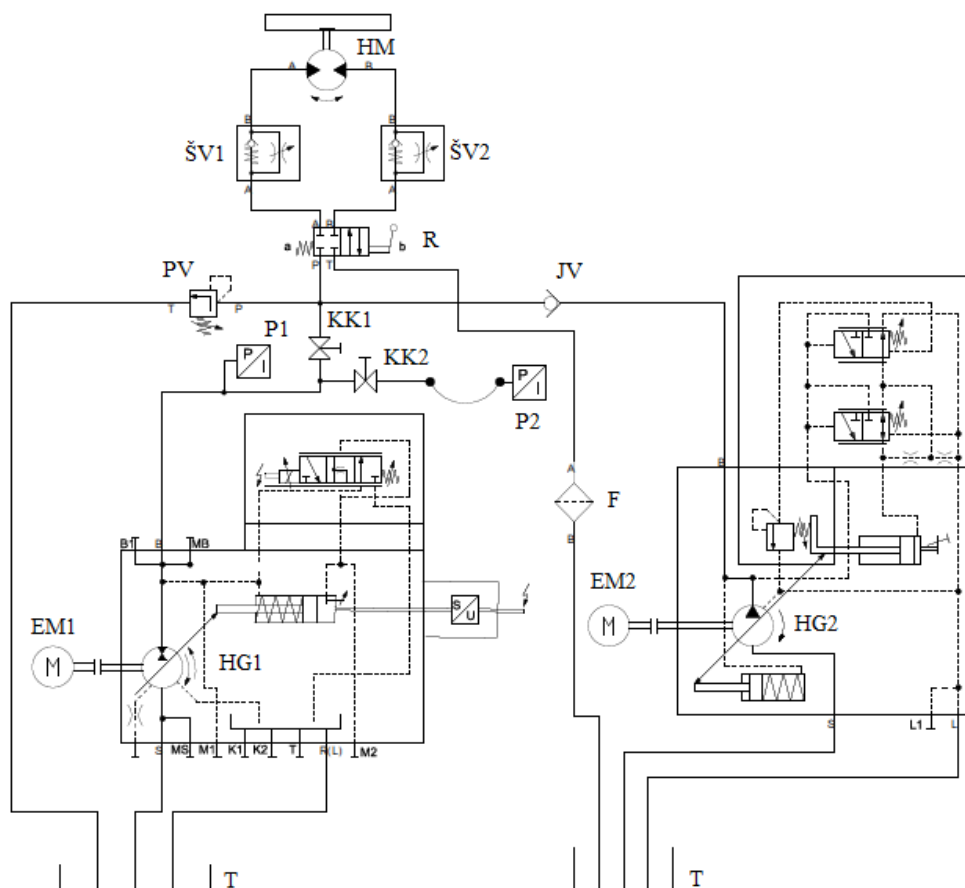
Měřicí zdířky:

- 1 – žádaná hodnota tlaku p_{soll}
- 2 – skutečná hodnota tlaku p_{ist}
- 3 – žádaná hodnota úhlu vychýlení šikmé desky α_{soll}
- 4 – skutečná hodnota úhlu vychýlení šikmé desky α_{ist}
- 5 – žádaná hodnota polohy šoupátka ventilu S_{soll}
- 6 – skutečná hodnota polohy šoupátka ventilu S_{ist}
- 7 – referenční potenciál / hmotnost
- 8 – referenční hodnota / hmotnost

Řídící jednotka generuje elektrické signály, které se nesmí využít pro sepnutí bezpečnostně důležitých funkcí stroje. Toto je dáno podle evropské normy EN 982.

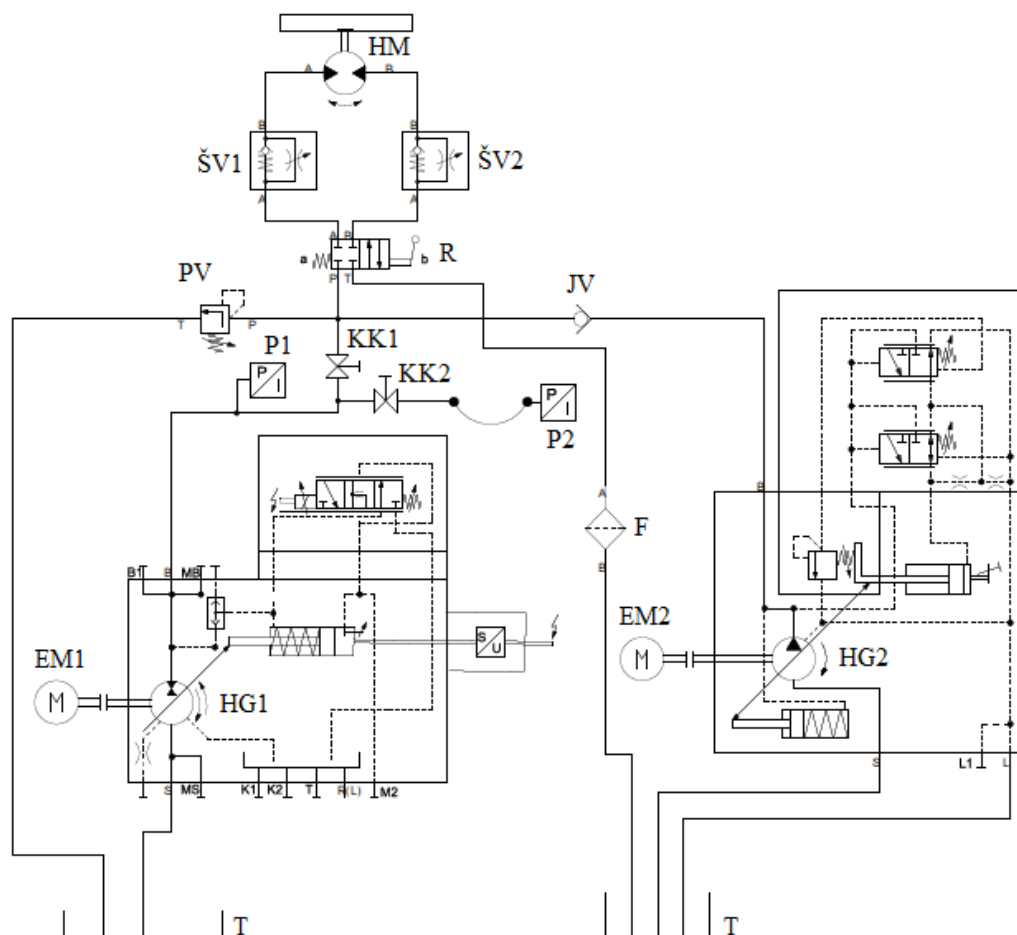
7. NÁVRH OBVODU A POTŘEBNÉ VÝPOČTY

Pro zkoušení elektronické regulace hydrogenerátorů jsou navrženy 2 hydraulické obvody, jeden bude pro tuto funkci optimální a tudíž realizovaný. V prvním návrhu obvodu je použit hydrogenerátor se elektronickou regulací DFE1 a v druhém návrhu obvodu je použit hydrogenerátor s elektrickou regulací DFE1Y.



Obr. 19 – Návrh hydraulického obvodu č. 1

Na obr. 19 je hydraulické schéma obvodu, které se skládá z hydromotoru se zátěží (HM), jednosměrného škrticího ventilu (ŠV1), který škrťí na vstupu do hydromotoru, jednosměrného škrticího ventilu (ŠV2), který škrťí na výstupu z hydromotoru, směrového ventilu pro inicializaci hydromotoru (R), dva snímače tlaků (P1 a P2), pojistného ventilu (PV), dvou kulových kohoutů (KV1, KV2), jednosměrného ventilu (JV), filtru (F), dvou hydrogenerátorů (HG1, HG2), dvou elektromotorů (EM1, EM2) a hydraulické nádrže (N).



Obr. 20 – Návrh hydraulického obvodu č.2

Na obr. 20 je hydraulické schéma obvodu, které se skládá z hydromotoru se zátěží (HM), jednosměrného škrticího ventilu (ŠV1), který škrtí na vstupu do hydromotoru, jednosměrného škrticího ventilu (ŠV2), který škrtí na výstupu z hydromotoru, směrového ventilu pro inicializaci hydromotoru (R), dva snímače tlaků (P1 a P2), pojistného ventilu (PV), dvou kulových ventilů (KV1, KV2), jednosměrného ventilu (JV), filtru (F), dvou hydrogenerátorů (HG1, HG2), dvou elektromotorů (EM1, EM2) a hydraulické nádrže (N).

7.1. Volba hydrogenerátoru

Díky poznatků z aplikací v praxi, bylo rozhodnuto použít axiální pístový hydrogenerátor řady A4VSO, na který lze použít elektronická regulace DFE1. Hydrogenerátor je vyráběn ve velikostech $V_{gG} = 40, 71, 125, 180, 250$ a 355 cm^3 . Do obvodu byl zvolen hydrogenerátor s geometrickým objemem 71 cm^3 s regulací DFE1, popřípadě DFE1Y z důvodu toho, že firma Bosch Rexroth byla schopna tento hydrogenerátor poskytnout okamžitě.

7.2. Výpočet parametrů hydrogenerátoru

Vzhledem k základnímu nastavení karty VT 5041 bude maximální tlakový spád v obvodu 10 MPa. Pracovní tlak v obvodu volím 3 MPa. Základní technické parametry zvoleného hydrogenerátoru jsou v tabulce 1.

Geometrický objem hydrogenerátoru	V_{gG}	71	cm^3
Otáčky hydrogenerátoru (= otáčky el. motoru)	n_{EM}	1455	min^{-1}
Maximální tlak v obvodu	Δp	10	MPa
Pracovní tlak v obvodu	p	3	MPa
Mechanicko – tlaková účinnost hydrogenerátoru	η_{Gmp}	0,94	-
Objemová účinnost hydrogenerátoru	η_{GO}	0,96	-
Celková účinnost hydrogenerátoru	η_{GC}	0,9	-

Tab. 1 – Základní technické parametry hydrogenerátoru

Maximální objemový průtok hydrogenerátoru:

$$Q_G = V_{gGmax} \cdot n_{EM} \cdot \eta_G = 71 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1455}{60} \cdot 0,96 \quad (8.1)$$

$$Q_G = 16,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 99,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (8.2)$$

Krouticí moment hydrogenerátoru:

$$M_G = \frac{V_{gG} \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{Gmp}} = \frac{71 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot 0,94} = 36,1 \text{ Nm} \quad (8.3)$$

Výkon hydrogenerátoru:

$$P_H = M_G \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{EM} \cdot \eta_{GC} = 120,2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1455}{60} \cdot 0,9 = 4950,41 \text{ kW} \quad (8.4)$$

Na základě těchto výpočtů volím elektromotor od firmy Siemens typ 1LA7130-4AA. Výkon elektromotoru je 5,5 kW, má 1455 otáček za minutu a krouticí moment 36,1 Nm.

7.3. Volba hydromotoru

Vzhledem k tomu, že hydromotor bude v obvodu fungovat pouze jako spotřebič, byl tento hydromotor vybrán podle četnosti a podle praktických využití firmy Bosch Rexroth. Byl tedy zvolen hydromotor řady A2FM. Ten se vyrábí ve velikostech $V_{gM} = 10, 12, 16,$

23, 28, 32, 45, 56, 63, 80, 90, 107, 125, 160 a 180 cm³. Pro naše účely byl zvolen hydromotor s geometrickým objemem 56 cm³.

7.4. Výpočet parametrů hydromotoru

Základní technické parametry hydromotoru jsou v tabulce 2.

Geometrický objem hydrogenerátoru	V_{gM}	56,1	cm ³
Mechanicko – tlaková účinnost hydrogenerátoru	η_{Mmp}	0,94	-
Objemová účinnost hydrogenerátoru	η_{MO}	0,96	-
Celková účinnost hydrogenerátoru	η_{MC}	0,9	-

Tab. 2 - Základní technické parametry hydromotoru

Otáčky hydromotoru:

$$n_M = \frac{Q_G \cdot \eta_{MO}}{V_{gM}} = \frac{0,00165 \cdot 0,96}{56,1 \cdot 10^{-6}} = 28,2 \text{ s}^{-1} = 1694,12 \text{ min}^{-1} \quad (8.5)$$

Krouticí moment hydromotoru:

$$M_M = \frac{V_{gM} \cdot p \cdot \eta_{Mmp}}{2 \cdot \pi} = \frac{56,1 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 0,94}{2 \cdot \pi} = 25,18 \text{ Nm} \quad (8.6)$$

Výkon hydromotoru:

$$P_M = M_M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_M = 83,93 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 28,2 = 4,467 \text{ kW} \quad (8.7)$$

7.5. Návrh velikosti nádrže

Pro určení velikosti nádrže se v obvodech používá pomocný výpočet:

$$V_N = (3 \text{ až } 5) \cdot Q_G \quad (8.8)$$

Tento výpočet se používá proto, aby byla nádrž dostatečně velká pro všechna použití daného obvodu. Výpočet velikosti nádrže:

$$V_N = 3 \cdot V_{gG} \cdot n_{EM} = 3 \cdot 71 \cdot 10^{-3} \cdot 1455 \approx 310 \text{ dm}^3 \quad (8.9)$$

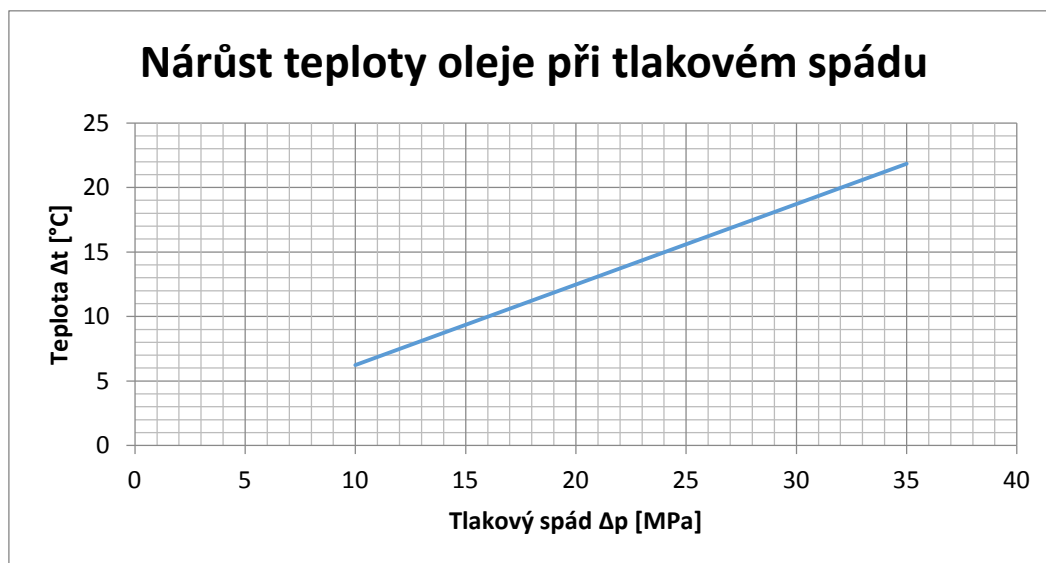
Náš obvod však slouží pouze ke zkušebním účelům a podle zkušeností z praxe firmy Bosch Rexroth jsme rozhodli, že dostačuje nádrž o velikosti 160 litrů.

7.6. Nárůst teploty oleje při tlakovém spádu

Nejdříve je spočtena teplota při pracovním tlaku 10 MPa. Následně byla vypočtena teplota pro 20 MPa, 30 MPa a 35 MPa a z těchto hodnot byl vytvořen graf nárůstu teploty Δt při tlakovém spádu Δp .

Ukázka výpočtu nárůstu teploty oleje:

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{\rho \cdot c_{OL}} = \frac{10 \cdot 10^6}{890 \cdot 1800} = 6,24 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8.10)$$



Obr. 21- Graf závislosti teploty na tlaku ve svodech hydrogenerátoru

7.7. Výpočet oteplení obvodu

V tabulce 3 se nachází parametry pro výpočet oteplení obvodu.

Objem nádrže	V_N	0,16	m^3
Teplota okolí	T_{OK}	22	$^\circ\text{C}$
Maximální provozní teplota oleje	T_{OL}	60	$^\circ\text{C}$
Součinitel přestupu tepla nádrží	k_N	12	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita oceli	c_{OC}	460	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita oleje	c_{OL}	1800	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Hmotnost ocelových částí	m_{OC}	100	kg
Hustota oleje	ρ_{OL}	890	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Tab. 3 – Parametry pro výpočet oteplení [30]

Plocha nádrže:

$$S_N = \sqrt[3]{\left(\frac{V_N}{0,063}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,16}{0,063}\right)^2} = 1,86 \text{ m}^2 \quad (8.11)$$

Skutečný výkon (roven výkonu elektromotoru):

$$P_{SKUT} = P_{EM} = 5,5 \text{ kW} \quad (8.12)$$

Celková účinnost hydrogenerátoru a hydromotoru

$$\eta_C = \eta_G \cdot \eta_M = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81 \quad (8.13)$$

Ekvivalentní příkon:

$$P_E = \frac{P_{SKUT}}{\eta_C} = \frac{5500}{0,81} = 6,790 \text{ kW} \quad (8.14)$$

Ztrátový výkon na prosacích:

$$P_{Zpros} = Q \cdot \Delta p = 10,3 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 10^6 = 1,033 \text{ kW} \quad (8.15)$$

Hmotnost oleje:

Volím zaplnění nádrže $V_{NS} = 118 \text{ dm}^3$

$$m_{OL} = V_{NS} \cdot \rho_{OL} = 118 \cdot 10^{-3} \cdot 890 = 105 \text{ kg} \quad (8.16)$$

Časová konstanta:

$$T_K = \frac{m_{OC} \cdot c_{OC} + m_{OL} \cdot c_{OL}}{k_N \cdot S_N} = \frac{100 \cdot 460 + 105 \cdot 1800}{12 \cdot 1,86} = 10\,533 \text{ s} \quad (8.17)$$

Doba dosažení maximální přípustné teploty oleje:

$$\tau = -T_K \cdot \ln \left(1 - \frac{(T_{OL} - T_{OK}) \cdot k_N \cdot S_N}{P_{Zpros}} \right) \quad (8.18)$$

$$\tau = -10533 \cdot \ln \left(1 - \frac{(60 - 22) \cdot 12 \cdot 1,86}{1033} \right)$$

$$\tau \cong 18124,5 \text{ s} \cong 302 \text{ min} \cong 5 \text{ hod}$$

Tento výpočet bude pro srovnání proveden ještě jednou, a to s maximálním výkonem, se kterým je hydrogenerátor schopen dlouhodobě pracovat, v případě záměny elektromotru.

Ekvivalentní příkon:

$$P_E = \Delta p \cdot V_{gG} \cdot n_{EM} = 35 \cdot 10^6 \cdot 71 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1455}{60} = 60\,261,25 \text{ W} \quad (8.19)$$

Skutečný výkon:

$$P_{SKUT} = P_E \cdot \eta_C = 60\,261,25 \cdot 0,81 = 48\,811,61 \text{ W} \quad (8.20)$$

Ztrátový výkon:

$$P_Z = P_E - P_{SKUT} = 60\,261,25 - 48\,811,61 = 11\,449,64 \text{ W} \quad (8.21)$$

Doba dosažení maximální přípustné teploty oleje:

$$\tau = -T_K \cdot \ln \left(1 - \frac{(T_{OL} - T_{OK}) \cdot k_N \cdot S_N}{P_Z} \right) = -9238 \cdot \ln \left(1 - \frac{(60 - 22) \cdot 12 \cdot 1,86}{11\,449,64} \right)$$

$$\tau \cong 811 \text{ s} \cong 13,5 \text{ min}$$

7.8. Volba hydraulické kapaliny

Jelikož hydraulický olej podle ISO HM 46 je v našich klimatických podmínkách doporučen pro celoroční provoz a bývá v takových obvodech nejčastěji používán, byl zvolen i pro navržený obvod.

7.9. Návrh hydraulického potrubí

Volba hadic do hydraulického obvodu lze vypočítat ze vzorce na výpočet průtoku hydrogenerátoru. Jelikož se bude jednat o sání nátokové (hydrogenerátor je níže než hladina v nádrži), bude se počítat s rychlostí proudění v sacím potrubí $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$Q_G = S \cdot v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_G}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,5 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 1,5}} = 0,0374 \text{ m} \quad (8.22)$$

Pro proudění v tlakovém potrubí se volí teoretická rychlost 3 až $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Volíme $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$Q_G = S \cdot v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_G}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,5 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 5}} = 0,0205 \text{ m}$$

Pro proudění v odpadním potrubí je zvolena rychlost proudění $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$Q_G = S \cdot v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_G}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,5 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 3}} = 0,0265 \text{ m}$$

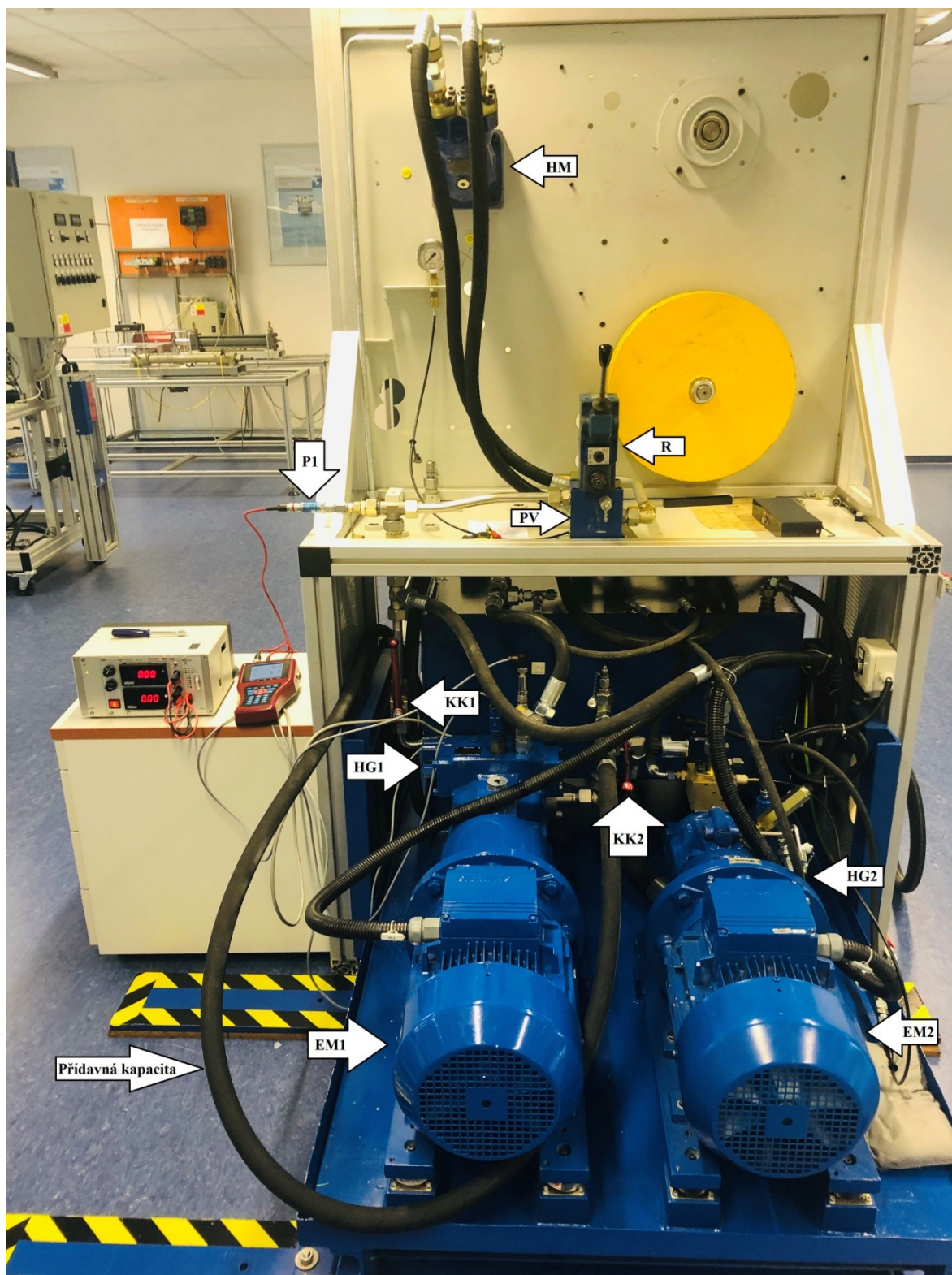
V hydraulickém obvodu volím sací hadice o světlosti 38 mm (DN38), tlakové hadice o světlosti 22 mm (DN22) a odpadní hadice o světlosti 27 mm (DN27). Přídavná kapacita bude mít také hadici DN22.

7.10. Sestavení obvodu

Pro sestavení obvodu byla zvolena varianta - obvod č. 2 a to z důvodu možnosti negativního naklopení desky a následné možnosti kalibrace karty pro tyto pohony. Byla tedy použita elektronická regulace DFE1Y, která se oproti elektronické regulaci DFE1 liší pouze přidáním prvku OR. To znamená, že je přiveden externí řídicí kanál na napájení regulace tlakovou kapalinou u hydrogenerátoru A4VSO .

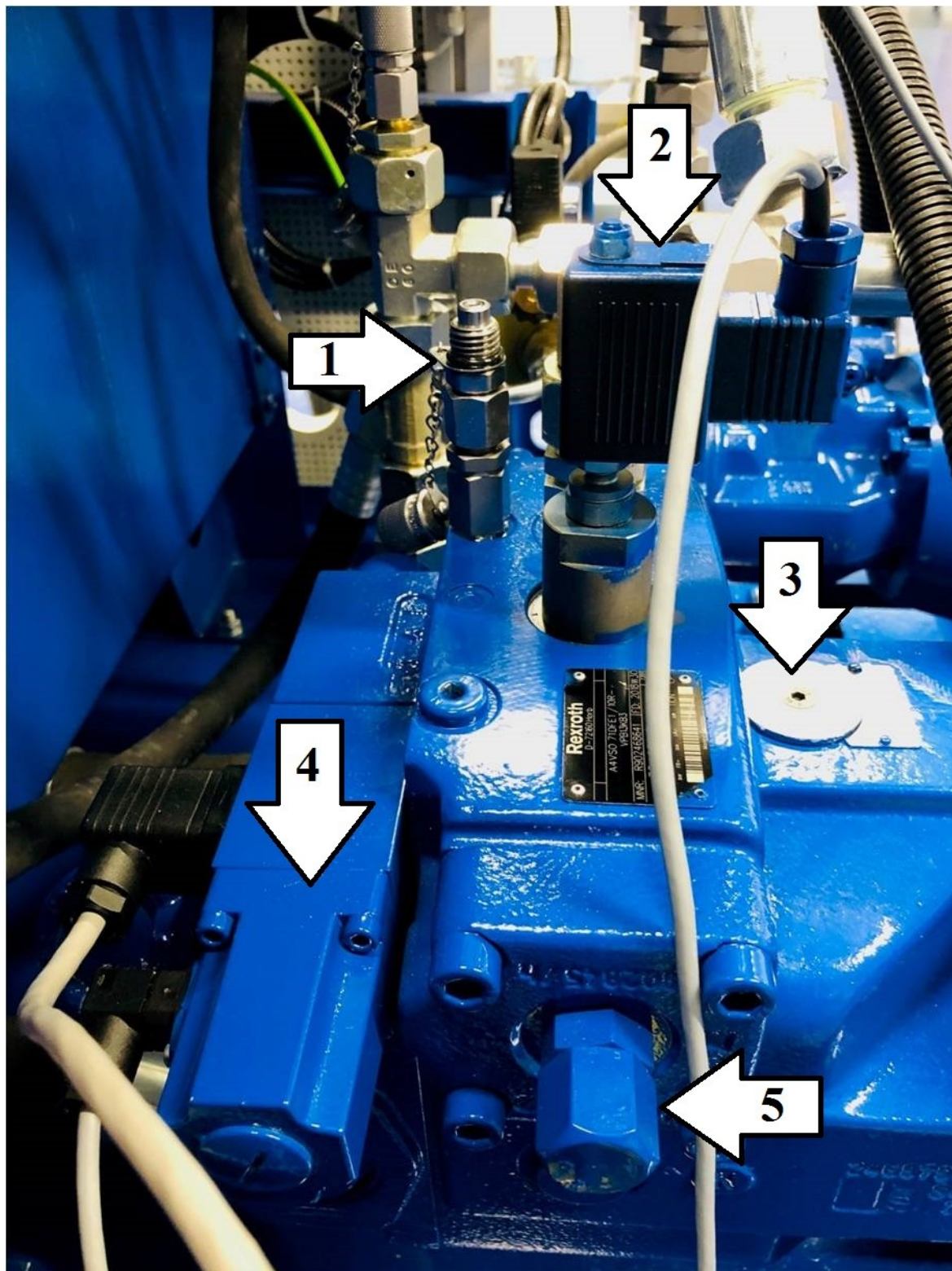


Obr. 22 - Prvek OR pro DFE1Y



Obr. 23 - Hydraulický obvod pro elektronickou regulaci hydrogenerátorů DFE1

Prvek OR byl po kalibraci snímačů přidán za hydrogenerátor A4VSO, jak je ukázáno na obr. 24.



Obr. 24 - Přidání prvku OR do obvodu

1 – výběrový ventil, 2 – snímač tlaku, 3 – ukazatel naklopení desky, 4 – proporcionální ventil, 5 – doraz řídicího pístu

8. SPECIFIKACE PRVKŮ V OBVODU

8.1. Axiální pístový hydrogenerátor typ A4VSO

Hydrogenerátor HG1 je axiální pístový, je zvolen od firmy Bosch Rexroth a je v provedení s elektrohydraulickým řídicím systémem. Je to typ A4VSO 71DFE1/10R-VPB13K83.

Geometrický objem	V_{gG}	71	cm^3
Maximální otáčky	n_{\max}	2700	min^{-1}
Objemový průtok (n_{\max})	$Q_{v\max}$	156	$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Výkon (n_{\max})	P_{\max}	61	kW
Krouticí moment ($V_{g\max}$)	M_{\max}	223	Nm
Moment setrvačnosti (v ose hřídele)	J	0,0121	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Hmotnost	m	53	kg

Tab. 4 - Parametry hydrogenerátoru A4VSO

8.2. Elektromotory

Oba elektromotory v obvodu (EM1, EM2) jsou stejné a jsou vybrány od firmy Siemens typ 1LA7130-4AA66. Je to třífázový asynchronní elektromotor s kotvou na krátko.

Výkon	P_{EM}	5,5	kW
Otáčky	n_{EM}	1455	min^{-1}
Účinnost	η_{EM}	0,75	-
Počet pólů	i	4	-
Napětí	U	400/690	V
Jmenovitý vstupní proud	I	11,4/6,61	A
Krouticí moment	M_{EM}	36,1	Nm
Hmotnost	m_{EM}	41	kg

Tab. 5 - Parametry elektromotoru 1LA7130-4AA66

8.3. Axiální pístový hydrogenerátor A10VSO

Dále jsem použil axiální pístový hydrogenerátor (v obvodu HG2) od firmy Bosch Rexroth typ A10VSO28DFLR/31R-PPA12N00. Tento hydrogenerátor obsahuje regulátor tlaku, průtoku a výkonu. V obvodu funguje jako pomocný hydrogenerátor, popřípadě může sloužit pro stanovení tlaku, průtoku či výkonu.

Geometrický objem	V_{gG}	28	cm^3
Maximální otáčky	n_{\max}	3600	min^{-1}
Objemový průtok (n_{\max})	$Q_{v\max}$	84	$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Výkon (n_{\max})	P_{\max}	39	kW
Krouticí moment ($V_{g\max}$)	$M_{G\max}$	125	Nm
Moment setrvačnosti (v ose hřídele)	J	0,0017	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Hmotnost	m	19,3	kg

Tab. 6 - Parametry hydrogenerátoru A10VSO

8.4. Hydromotor

Hydromotor (HM), který v obvodu funguje jako spotřebič, jsem vybral od firmy Bosch Rexroth typ A2FM56/61W-PPB010.

Geometrický objem	V_{gG}	56,1	cm^3
Maximální otáčky	n_{\max}	5000	min^{-1}
Objemový průtok (n_{\max})	$Q_{v\max}$	281	$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Výkon (n_{\max})	P_{\max}	61	kW
Krouticí moment ($V_{g\max}$)	$M_{G\max}$	31,3	Nm
Moment setrvačnosti (v ose hřídele)	J	0,0042	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Hmotnost	m	18	kg

Tab. 7 - Parametry hydromotoru A2FM

8.5. Ostatní prvky v obvodu

Prvek	Typ	Označení v obvodu	Výrobce	Poznámka
Pojistný ventil	ZDB 10 VP2-41/315V	PV	Bosch Rexroth	
Zpětný filtr	ABZFE-R0160-10-1X/M-DIN	F	Bosch Rexroth	Filtrace na 10 µm
Kulový kohout	BKH 20S 16 1123	KK1, KK2	J.S.C Brno s.r.o	
Nádrž	ABHAG-0160S40/A10V S028/132S	T	Bosch Rexroth	Velikost 160 litrů
Snímač tlaku	PR100	P1, P2	Hydrotechnik	0-400 bar, 4-20mA, 20-32V/DC

Tab. 8 - Specifikace prvků v obvodu

9. SPECIFIKACE KOMPONENTŮ PRO ELEKTRICKÉ OVLÁDÁNÍ

9.1. Analogový procesorový převodník APP03

Všude tam, kde je nutno typ signálu změnit a zároveň jej galvanicky oddělit můžeme použít analogový převodník APP03. Zároveň slouží pro řídicí automaty, sběry dat a monitorovací systémy jako vstupní rozhraní. Převod signálu má dva režimy. První je standardní režim, který má odezvu 180 ms a druhý je režim rychlý, jenž má odezvu 33 ms. Na PC můžeme nastavit, aby převodník pracoval s inverzními signály.

VSTUPNÍ SIGNÁLY		VÝSTUPNÍ SIGNÁLY	
Přednastavené – DIP přepínač		Přednastavené – DIP přepínač	
PROUDOVÉ	0 – 20 mA DC	PROUDOVÉ	0 – 20 mA DC
	4 – 20 mA DC		4 – 20 mA DC
NAPĚTOVÉ	0 – 10 V DC	dle zapojení	aktivní / pasivní
ODP.VYSÍLAČ	0 – 100 %	NAPĚTOVÉ	0 – 10 V DC
Nastavitelné uživatelem – přes PC		Nastavitelné uživatelem – přes PC	
PROUDOVÉ	- 21 – +21 mA DC	PROUDOVÉ	0 – 21 mA DC
NAPĚTOVÉ	- 10,5 – +10,5 V DC		21 – 0 mA DC
	- 500 – +500 mV DC		aktivní / pasivní
ODP.VYSÍLAČ	10Ω – 500kΩ	NAPĚTOVÉ	0 – 10,5 V DC
			10,5 – 0 V DC

Obr. 25 - Možnosti nastavení signálů u APP03 ²¹

Výhodou APP03 jsou malé rozměry a obsahuje DIP přepínač, který umožňuje rychlou volbu kombinací mezi unifikovanými signály. Uživatel si může vybrat ze tří možností zadávání vstupního a výstupního signálu. Můžeme si vybrat z hodnot, které jsou předdefinovány výrobcem pomocí přepínače DIP. Druhou možností je nastavení přes PC, kde si uživatel může nastavit libovolné vlastní nastavení. Zároveň to mohou být nestandardní kombinace vstupních a výstupních signálů. Třetí možnost je manuální nastavení, kde si lze vybrat aktivní nebo pasivní proudový výstup dle zapojení na svorkovnici.

Je třeba si dávat pozor na pomocné napětí pro napájení čidel, je totiž se vstupním signálem galvanicky spojeno. Pokud je zvolena rychlá odezva, probíhá pouze rychlý převod signálu a chybové hlášení a nastavení filtrace jsou ignorovány.

Tento analogový procesorový převodník se doporučuje montovat na DIN lištu svisle se vstupy dolů. Pokud je převodník umístěn tam, kde je pracovní teplota vyšší než 40°C, je doporučeno při montáži na lištu nechat mezeru 5 mm.

9.2. Komponenty pro elektročást ovládací skříně:

1) Držák pojistky TRU COMPONENTS TC-R3-12

Je vhodný pro pojistky velikosti 5x20 mm se jmenovitým proudem 10 A a jmenovitým napětím 250 V/AC.

2) Krytka na otočný knoflík Thomsen 4311.0031

V elektroskříní je použit 2x.

3) Precizní potenciometr 534B1503JC

Potenciometr bývá používán jako regulovatelný odporový napěťový dělič, který slouží k řízení elektronických zařízení. Tento potenciometr od firmy Conrad je deseticestný. Výstup potenciometru je mono a elektrická zatížitelnost má hodnotu 2 W. Je mechanicky odolný, má velmi malé rozměry s centrálním upevněním, vysoký výkon, malý točivý moment, velmi vysokou linearitu a dlouhou životnost. V elektroskříní je použit 2x.

4) Otočný knoflík s kleštinovým uchycením

Je na průměr hřídele 6,35 mm. V elektroskříní je použit 2x.

5) Nožky přístroje SJ 5023

Jsou protiskluzové, samolepící, trvale elastické, při přesouvání nezanechává stopy. Tlumí vibrace, nárazy a údery. V elektroskříní je použit 4x.

6) Páčkový přepínač M2012SS4W01

Páčka je z kovu s možností aretace. Spínací napětí 250 V/AC a maximální spínací proud 3 A. V elektroskříní je použit 5x.

7) Kolíková lišta 106-40064

Tato kolíková lišta má 2 řádky po 16 kontaktech, tedy má 32 možných zapojení kontaktů. Jmenovitý proud 5,6 A.

8) Kolíková lišta 114-40080

Je to vícepólová rovná zásuvka. Jmenovitý proud 15 A. Má 15 konektorů.

9) Digitální panelový měřič Joy-it VM433

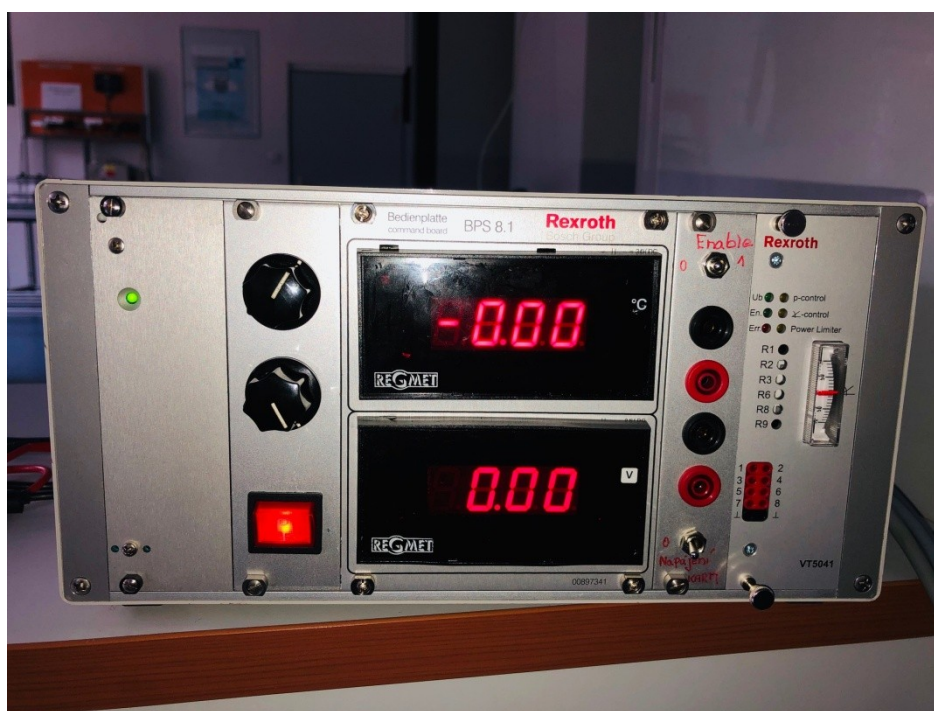
Pracuje s přesností 0,3%, rychlost aktualizace je 500 ms. Má čtyřčíslicový displej, jehož velikost je 0,36 palců. Provozní napětí 3,50 – 33V V/ DC. V elektroskříní je použit 2x.

10) Čelní panel mgv P60-6TE

Je vhodný pro síťové spínací přístroje 19'' série P60.

11) Síťový zdroj mgv P60-24021

Tyto síťové zdroje se dají použít téměř ve všech oblastech použití. Může být instalován do předního panelu 19-ti palcového systému. Připojit se k němu dá přes kódovaný konektor. Napětí 24 V/DC. Proud 2,5 A. Výkon 60 W.



Obr. 26 - Ovládací panel pro systém DFE1

10. NÁVOD NA KALIBRACI HYDROGENERÁTORU

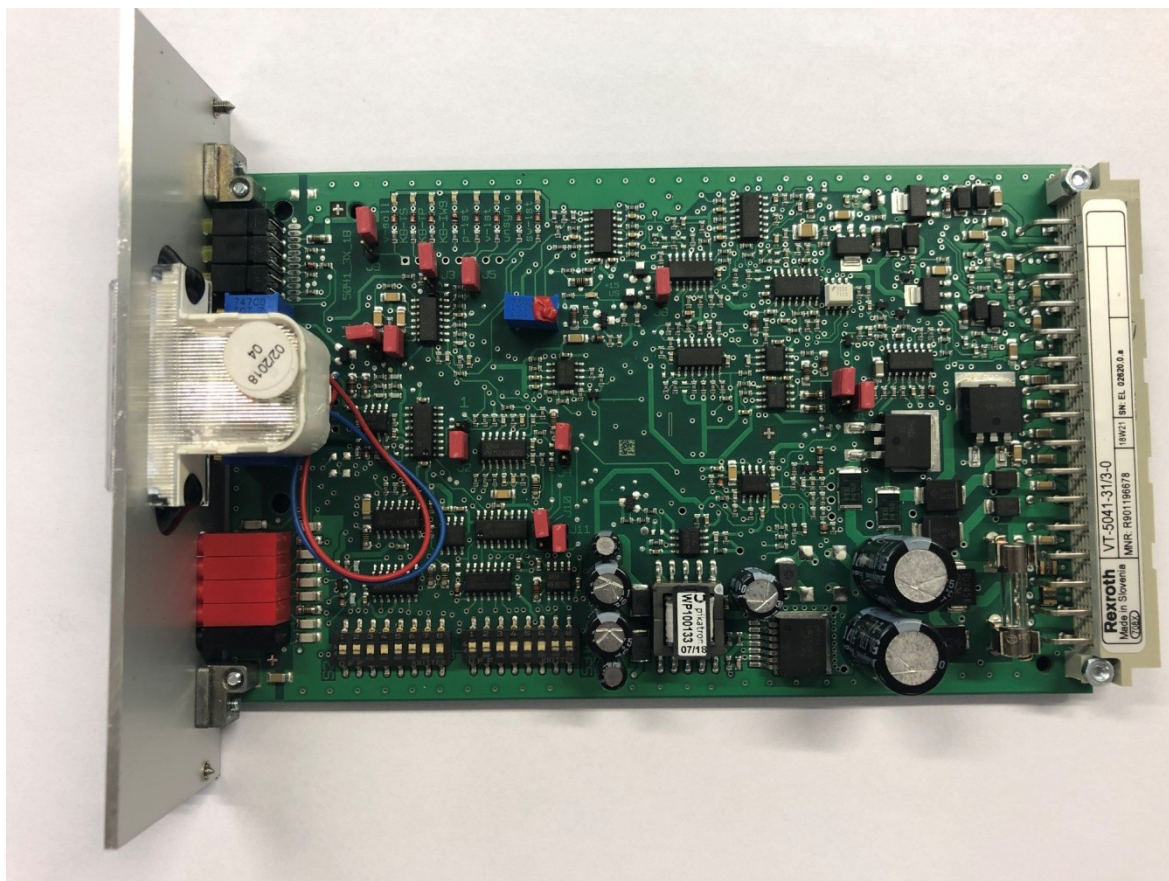
- 1) Kalibrace čidla tlaku. Nejprve je nutno sundat čidlo tlaku z měřicího bodu. Na potenciometru karty zkorigovat skutečnou hodnotu tlaku na 0V, což se provede na portu R1. Žádaná hodnota tlaku musí být taktéž 0V.
- 2) V klidovém stavu zkalibrovat maximální úhel naklopení desky hydrogenerátoru na 10V, což se provede na portu R9.
- 3) Nastavíme žádost na tlak na 0V a žádost na průtok na 0V. Nyní čerpadlo spustíme. Je třeba dávat si pozor, aby kapalina neutíkala přes pojistný ventil, proto je nutno jej postupně uzavírat.
- 4) Uzavřeme tlakový výstup za hydrogenerátorem a následně realizujeme korekci nulového úhlu naklopení šikmé desky, což provedeme na portu R8.
- 5) Dáme žádost na průtok na 1V a žádost na tlak na 5V. Nyní provedeme korekci tlaku skutečné a žádané hodnoty na 5V. Toto se provádí na portu R6.
- 6) Zvýšíme tlak na jeho maximální hodnotu a zkoriguje skutečnou a požadovanou hodnotu tlaku. Omezení maximálního tlaku nastavujeme na portu R2.

10.1. Měření

V navrženém obvodu pro zkoušení elektronické regulace čerpadel DFE1 byly provedeny měření. Zjišťoval jsem, jak se obvod chová při základním nastavení karty, co v obvodu udělá přídavná kapacita a co se stane změnou nastavení karty.

10.1.1. Měření bez přídavné kapacity v základním nastavení karty

Před prvním měřením proběhlo nastavení a kalibrace karty a snímačů tlaku. Karta byla uvedena do základního nastavení. Tedy prověření standardního běhu čerpadla – nastavili jsme pouze tlak-průtokovou regulaci. Dále jsme nastavili prosaky a jejich korekce na 4%.



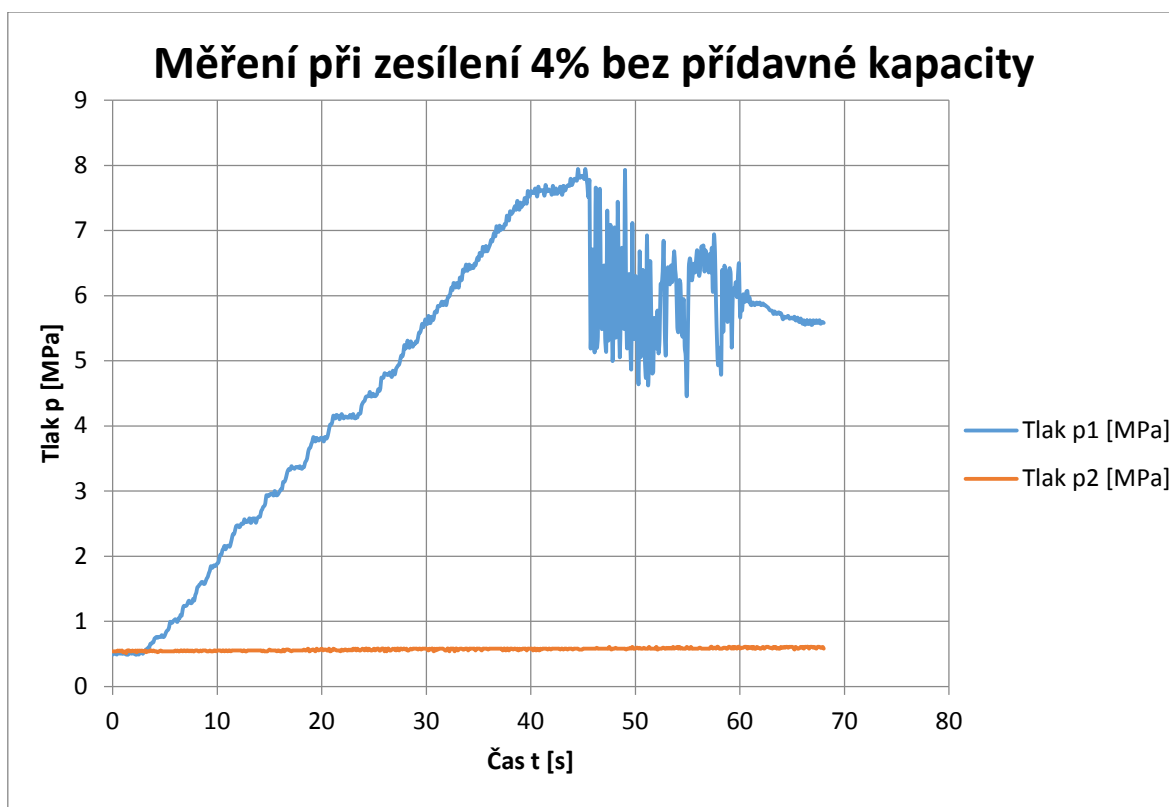
Obr. 27 - Nastavení karty VT 5041 do základního stavu

Před uvedením do provozu proběhla vizuální kontrola. Tlak na pojistném ventilu byl nastaven na minimální hodnotu (tlak pojistného ventilu v boku). Dále proběhla kontrola průsaku na hydrogenerátoru, tedy je-li zalitá skříň hydrogenerátoru. V tuto chvíli jsem nastavil všechny požadované hodnoty na 0, pouze skutečná hodnota průtoku – potažmo úhel vyklonění desky je na 100%, hodnota 9,93V

Nyní byl elektrický obvod karty VT-5041 uveden do provozu. Žádaná hodnota tlaku byla 0V a skutečná hodnota tlaku 0V. Žádaná hodnota průtoku byla 0V a skutečná hodnota průtoku byla 9,93V. Tato skutečná hodnota průtoku je správná, vzhledem k tomu, že deska v hydrogenerátoru je ve stavu maximálního geometrického objemu, který zajišťuje pružina regulačního pístu.

Po spuštění elektromotoru je skutečná hodnota úhlu naklonění desky 2,78V a skutečná hodnota tlaku na snímači P1 7,8 bar. Následně jsme zvýšili tlak na pojistném ventilu hlavního bloku pootočením o jednu otáčku. Tlak v systému zůstal na hodnotě okolo 5-6 bar, ovšem objemový průtok zůstal na nule. Hodnota tlaku na pojistném ventilu je nastavena výše, než je minimální tlak na hydrogenerátoru, který je způsoben silou pružiny na hlavním regulačním pístu. Hodnota 0-10V odpovídá tlaku 0-100 bar a objemovému

průtoku 0 až maximální průtok. Nyní nastavíme požadovanou hodnotu tlaku na 5V (50 bar). Skutečná hodnota tlaku je také 5V, tlak na snímači P1 je 49,9 bar a tlak na snímači P2 je 51,2 bar. Nyní nastavíme žádanou hodnotu tlaku na 10V. Tlak P1 je 99,5 bar a tlak P2 je 100,3 bar. Obvod je tedy dobře zkalibrován. Nastavíme požadovanou hodnotu průtoku na 1V a žádanou hodnotu tlaku na 0V. Nyní uzavřeme kulový ventil KK2, protože měříme bez přídavné kapacity. Zajímá nás tedy tlak P1. Postupně zvyšujeme žádanou hodnotu tlaku.



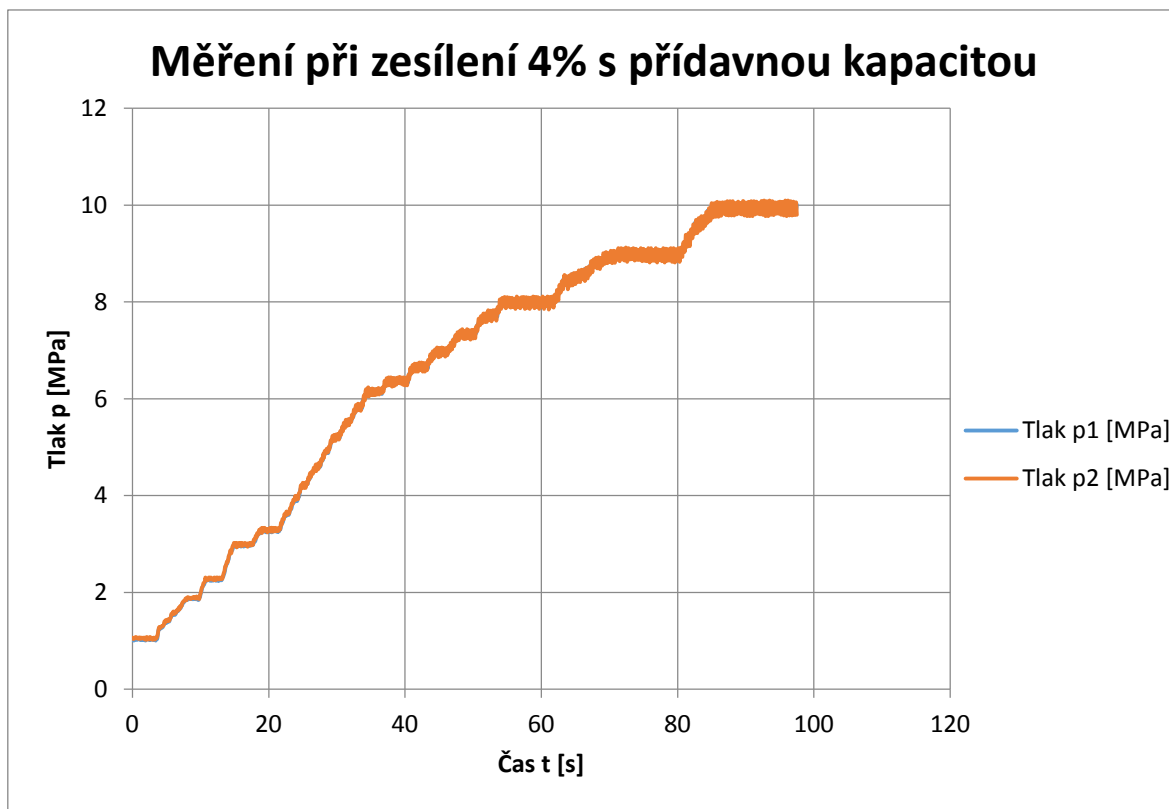
Obr. 28 - Graf závislosti tlakového spádu na čase při měření s kartou v základním nastavení bez přídavné kapacity

Jakmile jsme dosáhli tlaku na P1 7,8 MPa, začalo se objevovat kmitání regulace v hydrogenerátoru a což se negativně projevilo na abnormální hlučnosti a vibracích převodníku. Tento negativní jev je potřeba tlumit buď, přídavnou kapacitou, nebo optimalizací jednotlivých konstant regulátoru karty. Obojí následně vyzkoušíme.

10.1.2. Měření s přídavnou kapacitou v základním nastavení karty

Pro druhé měření necháváme stejné nastavení karty a pokusíme se vykompenzovat kmitání přídavnou kapacitou. To znamená, že otevřeme kulový kohout KK2. Přídavná kapacita, neboli tzv. „slepé střevo“ je hadice DN22, která má uzavřený konec a nikam tedy

nevede. Její délka je cca 2 metry. Měření opět probíhá při nastavení průtoku na 1 V a tlak postupně zvyšujeme od 0 do maxima (jeho žádanou hodnotu na potenciometru).



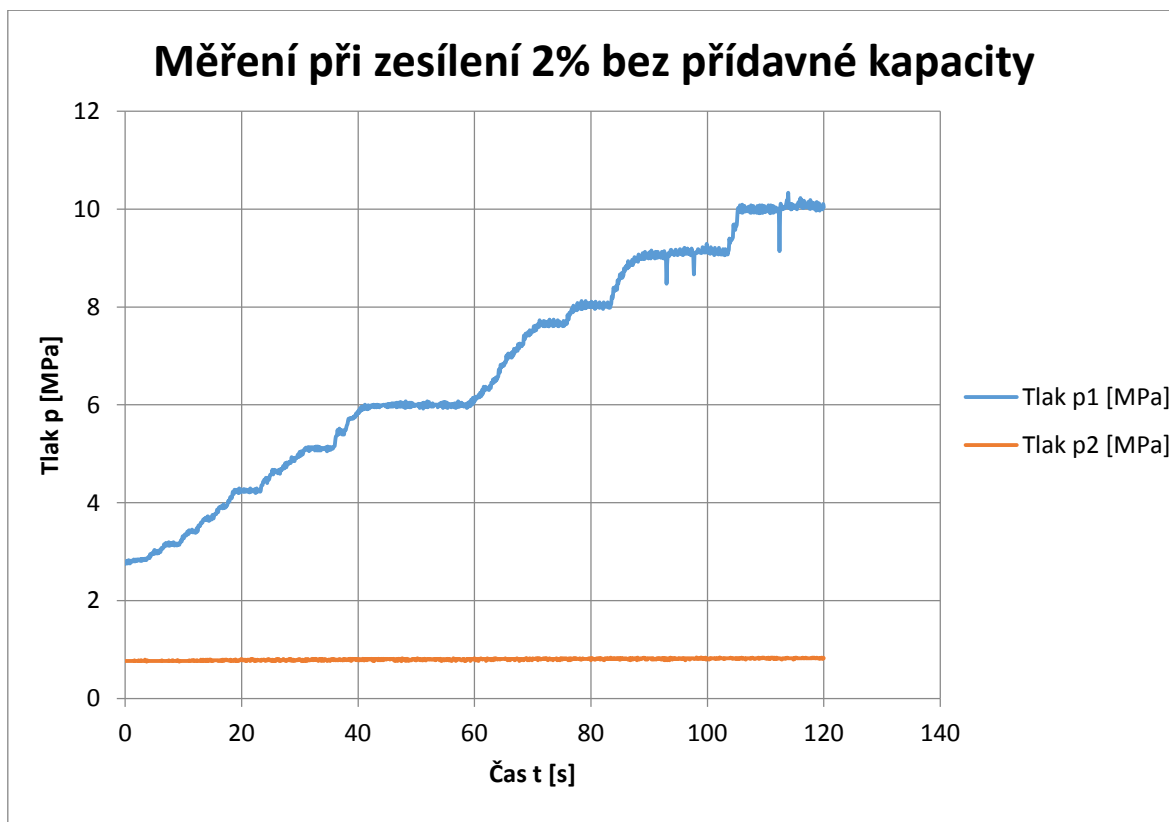
Obr. 29 - Graf závislosti tlakového spádu na čase při měření s kartou v základním nastavení s přídavnou kapacitou

Na grafu jde vidět, že tlak dosáhl maxima bez jakéhokoliv kmitání. Tlak p1 a p2, tedy před a za přídavnou kapacitou jsou skoro totožné. Ověřili jsme si tedy, že přídavná kapacita nám vykompenzuje veškeré kmitání v uvedeném spektru tlaku.

10.1.3. Měření bez přídavné kapacity při zesílení

Další možností, jak kmitání vykompenzovat je optimalizace nastavení konstant karty VT 5041 hydrogenerátoru A4VSO. Odstavíme tedy obvod a vyjmeme kartu VT 5041. Změníme nastavení této karty a to tak, že zmenšíme zesílení ze 4% na 2%.

Žádnou jinou změnu jsme neudělali a zkusíme, zda to bude stačit na to, aby nedocházelo ke kmitání. Nyní obvod opět uvedeme do provozu a nastavíme požadovanou hodnotu průtoku na 1 V a požadovanou hodnotu tlaku na 0 V. Zavřeme kulový kohout KK2 a začneme postupně zvyšovat tlak.

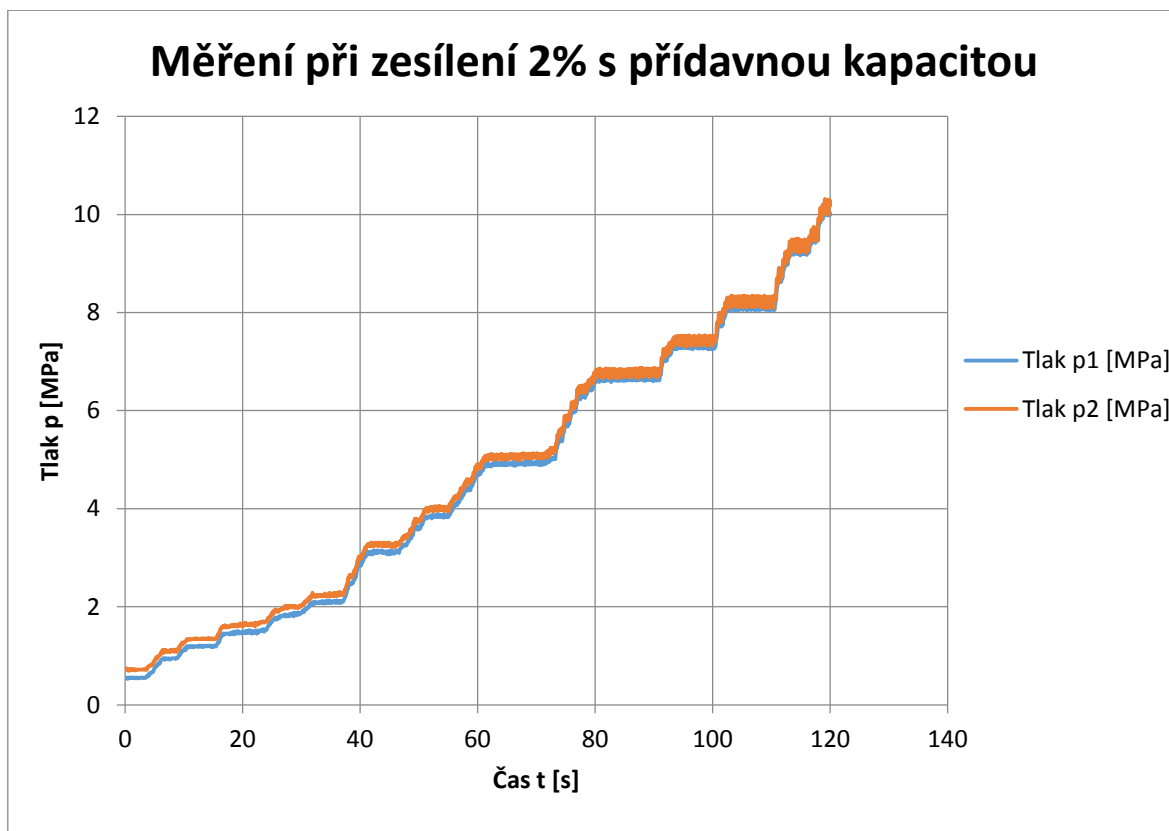


Obr. 30 - Graf závislosti tlakového spádu na čase při měření s kartou v základním nastavení, se snížením zesílení na 2% bez přídavné kapacity

Snížení zesílení na 2% nám stačilo k tomu, aby ani při maximálním tlaku nedocházelo ke kmitání. Lehké skoky v grafu způsobilo spuštění a vypnutí spotřebiče. Tudiž i tuto metodu jsme si ověřili.

10.1.4. Měření s přídavnou kapacitou při zesílení

Nyní provedeme měření s tímto nastavením pro obvod s přídavnou kapacitou. Otevřeme tedy kulový ventil KK2 a měření opakujeme. Tedy žádaná hodnota průtoku nastavena na 1V a tlak postupně zvyšujeme od 0V.



Obr. 31 - Graf závislosti tlakového spádu na čase při měření s kartou v základním nastavení a se snížením zesílení na 2% s přídavnou kapacitou.

Z grafu lze vyčíst, že i v tomto případě jsme dosáhli maximálního tlaku. Tlaky p1 i p2 mají skoro totožné hodnoty.

10.2. Nastavení výkonu

Nastavení výkonu lze realizovat dvěma způsoby.

10.2.1. Nastavení výkonu přímo na kartě pomocí výpočtu.

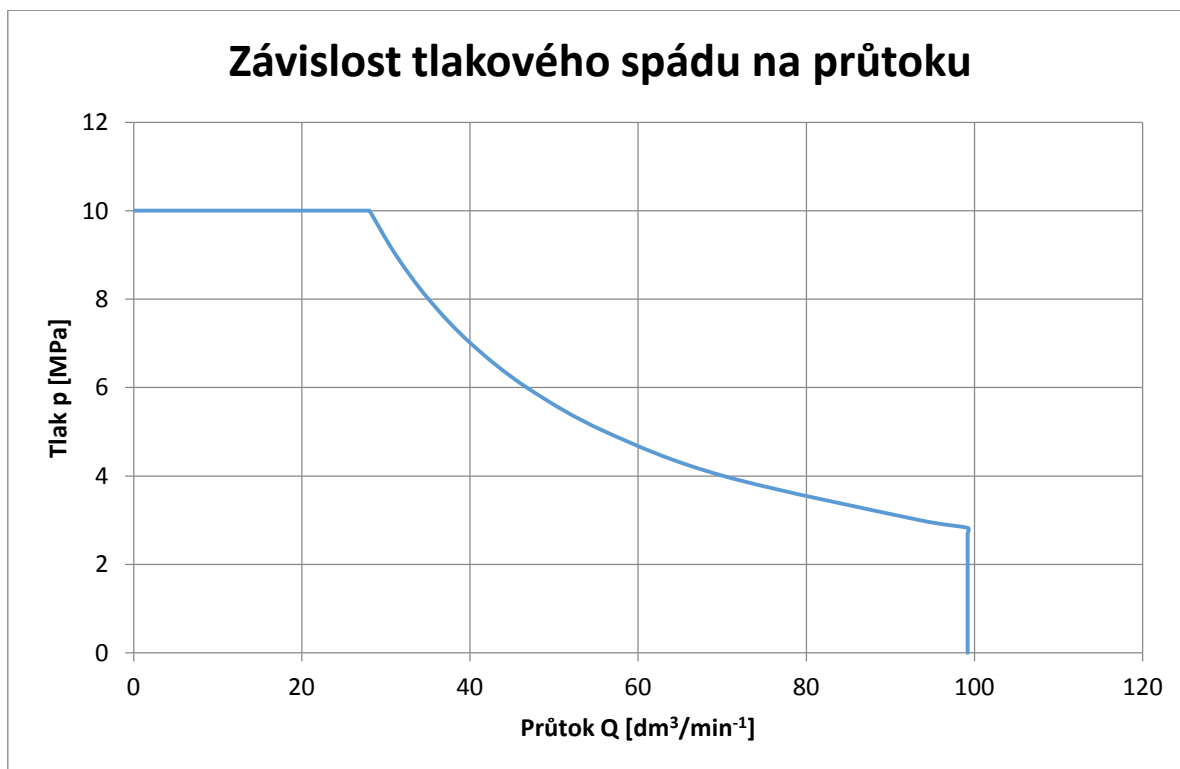
$$P = p \cdot Q \cdot \frac{1}{\eta} \quad (11.1)$$

P – Výkon elektromotoru [kW]

p – Tlak v obvodu [MPa]

Q – Průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

η – Účinnost elektromotoru [-]

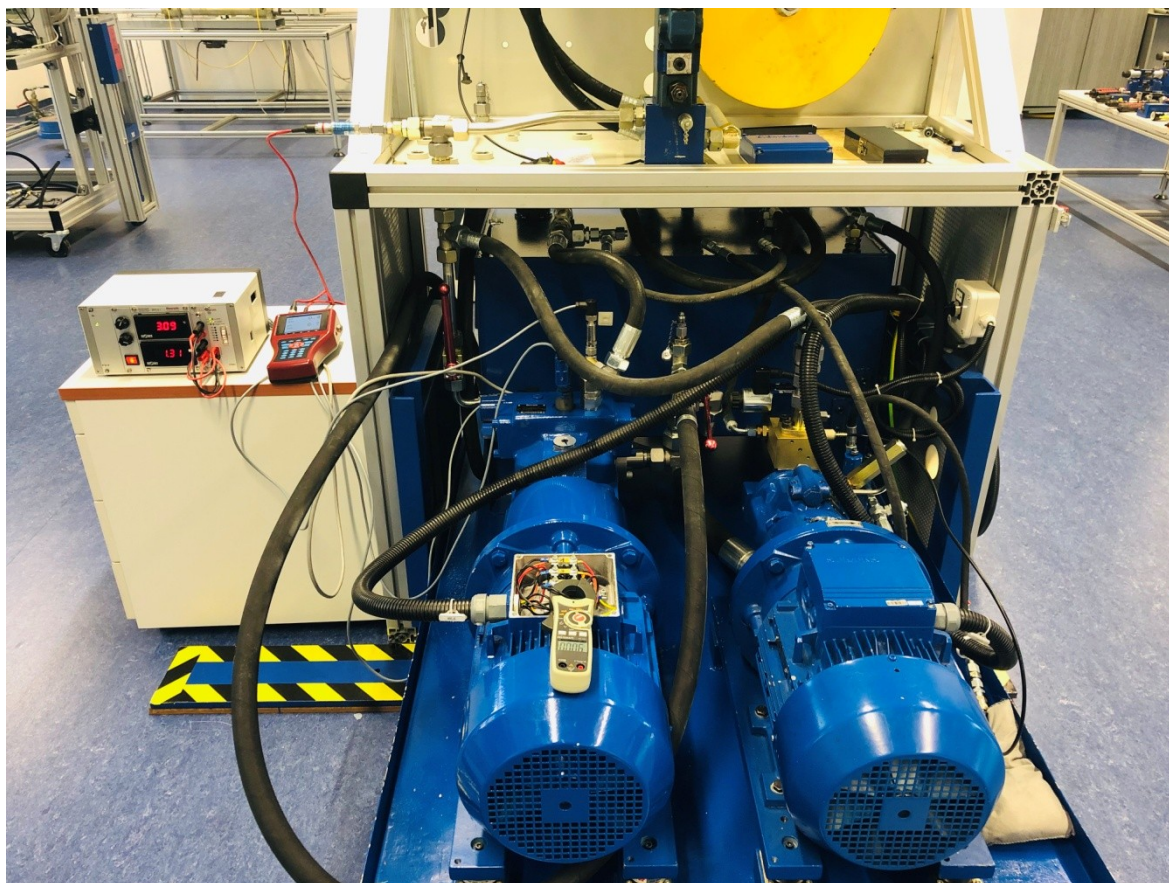


Obr. 32 - Graf závislosti tlaku na průtoku

10.2.2. Změřením maximálního proudu, který jde do elektromotoru

Postup pro nastavení maximálního výkonu pohonné jednotky:

- 1) Na elektromotor dáme klešťový ampérmetr. Podle parametrů pohonné jednotky nastavíme žádanou hodnotu na průtok na 50%, popřípadě 100%.
- 2) Na hlavním pojistném ventilu snížíme tlak na 1,5 MPa. Na kartě nastavíme žádanou hodnotu tlaku na 10V a průtoku rovněž na 10V.
- 3) Jmenovitý proud elektromotoru se rovnal 11,6 A při 400 V. Při běhu na prázdko je proud elektromotoru 6,61 A.
- 4) Nyní postupně zvedáme tlak na pojistném ventilu. Na elektromotoru se díky zátěži zvyšoval proud a tím pádem i jeho výkon, protože navyšujeme odpor. Na portu R3 nyní nastavíme výkon na hodnotu výkonu elektromotoru.



Obr. 33 - Nastavování výkonu

11. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá návrhem experimentálního pracoviště pro zkoušení elektronické regulace hydrogenerátorů, které bude sloužit pro kalibraci, servisní účely a rovněž i pro didaktické účely společnosti Bosch Rexroth, spol. s.r.o.

Na základě rešerše o hydrogenerátorech a možnostech jejich regulace, byl vytvořen návrh hydraulického obvodu pro zkoušení elektronické regulace. Tento obvod byl vytvořen ve dvou variantách, a to pro elektronickou regulaci DFE1 a pro elektronickou regulaci DFE1Y. Z těchto dvou obvodů byl zvolen jeden, který je pro danou funkci. Součástí návrhu obvodu jsou technické výpočty, na jejichž základě byly následně zvoleny prvky obvodu. V práci byl realizován návrh nádrže a kontrolní výpočet oteplení. Na sestavení obvodu pro zkoušení elektronické regulace hydrogenerátorů byl zvolen obvod s elektronickou regulací DFE1Y, a to z důvodu možnosti negativního naklopení desky. Další elektronické součásti, patřící do obvodu, byly implementovány externí firmou.

Součástí diplomové práce je návod na kalibraci hydrogenerátoru A4VSO s elektronickou regulací DFE1, který je zde podrobně sepsán. Dále také možnosti nastavení karty VT5041 pro různé možnosti kapacit mezi hydrogenerátorem a rozváděcím blokem, případně hlavním směrovým ventilem. Po vizuální kontrole proběhlo spuštění obvodu, na kterém proběhly 4 měření. První měření proběhlo s kartou v základním nastavení a vypnutou přídatnou kapacitou. Výsledkem bylo zjištění, že s tímto nastavením obvod nezvládá nárůst tlaku do maxima, což se projevilo na abnormální hlučnosti a vibracích hydrogenerátorů. Byly dvě možnosti jak tyto vibrace vykompenzovat. S přídatnou kapacitou již bylo dosaženo maximálního tlaku a veškeré vibrace se vykompenzovaly, což bylo zjištěno druhým měřením. V třetím měření se zkoušely vibrace vykompenzovat bez přídatné kapacity pomocí optimalizace parametrů karty. Na kartě proběhlo snížení zesílení ze 4% na 2%. Již toto stačilo ke kompenzaci vibrací a tedy i tato možnost dopadla kladně. Pro srovnání bylo toto měření provedeno ještě jednou, a to s přídatnou kapacitou. Vyzkoušení obvodu podává kladné poznatky, čímž se ověřilo, že návrh a realizace obvodu proběhly správně. V poslední fázi měření a testování pohonné jednotky proběhlo pomocí klešťového ampérmetru nastavení požadovaného výkonu elektromotoru na proporcionálním zesilovači VT 5041.

12. POUŽITÁ LITERATURA

1. WILL, D.; GEBHARDT, N. *Hydraulik – Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Springer Buch Verlag, 2011. 505 s. ISBN 987-3-642-17242-7
2. KOPÁČEK, J.; PAVLOK, B. *Tekutinové mechanismy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 151 s. ISBN 80-248-0856-0
3. ISERMANN, R. *Mechatronische Systeme – Grundlagen*. Springer Buch Verlag, 2008. 623 s. ISBN 987-3-540-32336-5
4. NOSKIEVIČ, J. *Dynamika tekutinových mechanismů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 1995. 166 s., 1. vydání. ISBN 80-7078-297-8
5. Axial piston variable pump A4VSO series 1x and 3x. *Bosch Rexroth AG* [online]. Horb am Neckar, Germany, ©2018 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/re92050_2018-10.pdf?db=brmv2&lvid=1208146&mvid=14520&clid=20&sid=DEC7FC23CB49166D603A01C0CCC0CB39.s142-vm&sch=M&id=14520,20,1208146
6. Elektrohydraulisches Regelsystem DFE1x für Axialkolben-Verstellpumpen A4VSO und A4VBO Baureihe 1x und 3x. *Bosch Rexroth AG* [online]. Horb am Neckar, Germany, ©2018 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/RD92088_2018-10.pdf?db=brmv2&lvid=1208344&mvid=14520&clid=20&sid=6AA06B72843E75EF414E183BED06AA4C.s142-vm&sch=M&id=14520,20,1208344
7. Pressure transducer for hydraulic applications: Type HM20. *Bosch Rexroth AG* [online]. Lohr am main, Germany, ©2018 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/RD92088_2018-10.pdf?db=brmv2&lvid=1208344&mvid=14520&clid=20&sid=6AA06B72843E75EF414E183BED06AA4C.s142-vm&sch=M&id=14520,20,1208344
8. Axialkolben-Verstellpumpe A10VSO Baureihe 31. *Bosch Rexroth AG* [online]. Horb am Neckar, Germany, 2016 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload->

internet.dll/rd92711_2016-

<10.pdf?db=brmv2&lvid=1198900&mvid=14520&clid=20&sid=024C445C62BD40651DB611587970ECC8.s142-vm&sch=M&id=14520,20,1198900>

9. *Elektromotory: 1LA7130-4AA* [online]. Mohelnice: K-Drives, ©2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/goods/index/id/93>
10. *CONRAD: Držák pojistky* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/drzak-pojistky-tru-components-tc-r3-12-1587496-vhodne-pro-pojistky-5-x-20-mm-10-a-250-v-ac-1-ks.k1587496>
11. *CONRAD: Příslušenství ke knoflíkům* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/krytka-na-otocny-knoflik-thomsen-4311-0031-cerna.k425546?icc=Search&icn=425546>
12. *CONRAD: Otočné potenciometry* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/precizni-potenciometr-10otackovy-mono-vishay-534b1503jc-534b1503jc-2-w-50-k-1-ks.k429325>
13. *CONRAD: Přístrojové knoflíky* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/otocny-knoflik-s-klestinovym-uchycenim-6-35-mm-cerna.k429924>
14. *CONRAD: Přístrojové nožičky* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/nozky-pristroje-samolepici-3m-d-x-s-x-v-20-6-x-20-6-x-7-6-mm-sj-5023.k525820>
15. *CONRAD: Páčkové spínače* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/packovy-prepinac-nkk-switches-m2012ss4w01-250-v-ac-3-a-pajeci-ocka-1x-zap-zap.k703728>
16. *CONRAD: PC konektory, samořezné konektory, x-řadé lišty* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/kolikova-lista-ept-106-40064-pocet-kontaktu-32-radku-2-1-ks.k712663>

17. *CONRAD: PC konektory, samořezné konektory, x-řadé lišty* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/kolikova-lista-ept-114-40080-pocet-kontaktu-15-radku-2-1-ks.k712674>
18. *CONRAD: Digitální vestavné měřicí přístroje* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/digitalni-panelovy-meric-joy-it-vm433-com-vm433.k1874703>
19. *CONRAD: Příslušenství pro napájecí zdroje do 19'' rámu* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/celni-panel-mgv-p60-6te.k512530>
20. *CONRAD: Napájecí zdroje do 19'' rámu* [online]. Praha: Conrad Electronic, ©2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/sitovy-zdroj-do-racku-mgv-p60-24021-24-v-dc-2-5-a.k512535>
21. *Izolovaný převodník pro analogové signály se zdrojem pomocného napětí APP 03: Analogový procesorový převodník APP03* [online]. Ostrava: Mercos, 2013 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: http://www.mercos.cz/pdf/cz/app03cat_cz.pdf
22. Axialkolben-Konstantmotor A2FM für explosionsgefährdete Bereiche II 2G ck IIB Tx. Bosch Rexroth [online]. Elchingen: The Drive & Control Company, ©2016 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/rd91001-01-x-b2_2016-04.pdf?db=brmv2&lvid=1194136&mvid=14588&clid=20&sid=EDA116784655CF37CCB9FF688408736A.s142-vm&sch=M&id=14588,20,1194136
23. *PRESSURE RELIEF VALVES, SANDWICH MODULE, PILOT OPERATED. Bosch Rexroth* [online]. Elchingen: The Drive & Control Company, ©2016 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://m.boschrexroth.com/en/us/products/product-groups/goto-products/goto-hydraulics/pressure-control-valves/zdb-and-z2db/index>
24. Bosch Rexroth ABZFR-S0100-10-1X/M-DIN Return Line Filter. *MERCATEO* [online]. Mnichov, ©2016 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z:

[https://www.mercateo.cz/p/2473H-R901025412\(2d\)MR/Bosch_Rexroth_ABZFR_S0100_10_1X_M_DIN_Return_Line_Filter.html?ViewName=live_cz~secureMode&chooseGeo=true&viewOptions=uiLanguage.cs](https://www.mercateo.cz/p/2473H-R901025412(2d)MR/Bosch_Rexroth_ABZFR_S0100_10_1X_M_DIN_Return_Line_Filter.html?ViewName=live_cz~secureMode&chooseGeo=true&viewOptions=uiLanguage.cs)

25. Hydraulické kulové kohouty: Dvoucestné kohouty. J.S.C. BRNO s.r.o [online]. Brno, ©2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.jsc-brno.cz/x11510-w001/bkh-20s-16-1123-m30x2>
26. Hydraulic tank. Bosch Rexroth [online]. Lohr am Main, ©2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.jsc-brno.cz/x11510-w001/bkh-20s-16-1123-m30x2>
27. PR100 series ISDS 4-20mA test sensor for pressure measurement. Hydrotechnik [online]. Nottingham, ©2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.hydrotechnik.co.uk/pr100-series-isds-4-20ma-test-sensor-pressure-measurement>
28. MultiSystem 4010. Hydrotechnik [online]. Limburg, ©2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.hydrotechnik.com/en-uk/products/instruments/multisystem/multisystem-4010/>
29. Externe Ansteuerelektronik (Variante) zur SYDFE1-Verstellung der Axialkolbenpumpe: VT 5041 [online]. Lohr am Main: Rexroth Bosch Group, ©2016 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://brmv2.kittelberger.net/borexmvz2-internet/pdfDownloadInternet.jsp?fn=RD%2030242-01_2011-10.pdf&lvid=1159385&mvid=14607&
30. Fyzikální kabinet GymKT: Tepel. délková roztažnost a měrná tepel. kapacita [online]. Klatovy, c2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://kabinet.fyzika.net/studium/tabulky/tepelna-kapacita-roztaznost.php>

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Eriku Stonawskému Ph.D. za odborné vedení práce, trpělivost, ochotu, cenné rady a věcné připomínky při konzultacích a vypracování Diplomové práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Bosch Rexroth spol. s.r.o., za možnost zrealizování tohoto projektu.

13. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Kompletní schéma hydraulického obvodu